corso di RADIOTECNICA

PRIMA EDIZIONE

I° VOLUME

Edizioni RADIO e TELEVISIONE - Milano

corso di RADIOTECNICA

PRIMA EDIZIONE

I° VOLUME

Edizioni RADIO e TELEVISIONE - Milano

corso di RADIOTECNICA

pubblicazione settimanale - 1 - 8 ottobre 1960 - un fascicolo lire 150 **1°** numero

corso di RADIOTECNICA

settimanale a carattere culturale

Direzione, Amministrazione, Pubblicità:
Via dei Pellegrini 8/4 - Telef. 593.478
MILANO

Ogni fascicolo — contenente 3 lezioni — costa lire 150, acquistato alle edicole.

Se l'edicola risulta sprovvista, o si teme di rimanere privi di qualche numero, si chieda invio settimanale direttamente al proprio domicilio a mezzo abbonamento.

Il versamento per ricevere i 52 fascicoli costituenti l'intero Corso è di lire 6500 + I.G.E. = lire 6630. A mezzo vaglia postale, assegno bancario, o versamento sul conto corr. postale 3/41.203 del « Corso di RADIOTECNICA » - Via dei Pellegrini 8-4 - Milano. In ogni caso, scrivere in modo molto chiaro e completo il proprio indirizzo.

L'abbonamento può essere effettuato in qualsiasi momento; si intende comprensivo delle lezioni pubblicate e dà diritto a ricevere tali lezioni, che saranno inviate con unica spedizione.

Estero: abbonamento al Corso, Lit. 8.500. ($ 15). Numeri singoli Lit. 300 ($ 0,50).

Per i cambi di indirizzo durante lo svolgimento del Corso, unire lire 100, citando sempre il vecchio indirizzo.

Fascicoli singoli arretrati — se disponibili — possono essere ordinati a lire 300 cadauno.

Non si spedisce contrassegno.

Distribuzione alle edicole di tutta Italia: Diffus. Milanese . Via Soperga, 57 - Milano.

Direttore responsabile: Giulio Borgogno.

Autorizzaz. N. 5357 - Tribunale di Milano.

Stampa: Intergrafica S.r.l. - Cologno Monzese.

La Direzione non rivende materiale radio; essa può comunicare, se richiesta, indirizzi di Fabbricanti, Importatori, Grossisti ecc. in grado di fornire il necessario ed ai quali il lettore può rivolgersi direttamente.

Alla corrispondenza con richiesta di informazioni ecc. si prega allegare sempre il **francobollo per la risposta**.

Parte del testo e delle illustrazioni è dovuta alla collaborazione del Bureau of Naval Personnel, nonchè al Dept. of the Army and the Air Force - U.S.A.

A chi può essere utile questo Corso? Anzitutto — stante la sua impostazione — il Corso, basato sull'esposizione in forma a tutti accessibile, della radiotecnica, dai suoi elementi basilari alla evoluzione più recente, rappresenta la forma ideale per tutti coloro che intendono dedicarsi all'elettronica, sia come forma ricreativa sia — soprattutto — per l'acquisizione di una professione specializzata che possa procurare loro una posizione di privilegio in seno alla società odierna.

Anno per anno, la nostra civiltà si indirizza sempre più verso questa meravigliosa, si potrebbe dire fascinosa, elettronica, che nel modo più evidente consente sviluppi impensati, progressi grandiosi e una rapida evoluzione di tutti gli altri rami dello scibile che essa tocca e influenza.

L'industria, tutta l'industria, nel senso più ampio, da quella elettrotecnica a quella meccanica, alla metallurgica, alla chimica ecc., con i suoi laboratori di ricerca e le sue fabbriche richiede, e richiederà sempre più, con un ritmo rapidamente crescente, tecnici specializzati con conoscenza dell'elettronica, tecnici specificatamente elettronici e persino operai e impiegati di ogni ordine e categoria con cognizioni di elettronica.

Si può dire che anche le branche commerciali, quelle dei trasporti e persino quelle amministrative con le recenti introduzioni delle calcolatrici, abbisognano di personale che conosca i principi dell'elettronica, le macchine relative, il loro pieno sfruttamento, la eventuale riparazione ecc. e, quanto più in modo completo, quanto meglio.

Nasce, da una tale situazione, una logica conseguenza: per la scelta di una professione o di un mestiere, per un miglioramento della propria posizione sociale, per l'intrapresa di una libera attività o anche per la sola acquisizione di cognizioni che indubbiamente verranno oltremodo utili, è quanto mai opportuno riflettere se non sia conveniente dedicare un po' di tempo allo studio di questa scienza che ha tra l'altro il pregio di rendersi immediatamente attraente, concreta, accessibile e foriera di moltissime soddisfazioni.

A questo scopo appunto, e con questi intenti, è stato redatto questo Corso.

Non mancano invero altri corsi (specie per corrispondenza) o scuole di radiotecnica, nè mancano (sebbene siano in numero del tutto inadeguato) scuole statali o pareggiate ma la struttura e l'impostazione che caratterizzano queste 156 lezioni sono alquanto particolari, presentando non pochi vantaggi sulle diverse altre forme di cui si è detto.

Anzitutto vogliamo porre in evidenza **il fattore economico.**

Frequentare regolarmente, durante tutto l'anno, una scuola è certo il modo più logico — anche se non il più rapido — per apprendere ma, tralasciando il fatto che rarissimi sono gli Istituti di radiotecnica, è a tutti possibile dedicarsi esclusivamente, e per l'intero anno, allo studio? Noi riteniamo che chi può farlo costituisca oggi assai più l'eccezione che la regola. Ciò significa infatti poter disporre liberamente del proprio tempo senza avere la necessità di un contemporaneo guadagno: il nostro Corso permette a chiunque di studiare a casa propria, nelle ore libere dal lavoro, senza abbandonare o trascurare quest'ultimo. Ciò caratterizza invero anche altri corsi, ma il vantaggio economico diviene notevole ed evidentissimo se si considera che di fronte all'esborso, anche se rateale, di quasi 80.000 lire che i corsi per corrispondenza richiedono, seguendo il nostro Corso la spesa in un anno risulta di poco più di 7500 lire (150 lire alla settimana presso un'edicola) o di 6630 lire totali, con recapito postale, settimanale, delle lezioni a domicilio.

E' superfluo dire che la Modulazione di Frequenza, i transistori, i circuiti stampati, la trasmissione, il telecomando ecc. sono argomenti integrali del Corso e non costituiscono motivo di corsi speciali, aggiunti o particolari.

Le lezioni di questo Corso — a differenza di molte altre — non sono stampate con sistemi di dispensa, a ciclostile, o con sistemi più o meno analoghi, derivanti cioè da un originale battuto a macchina da scrivere; esse sono stampate in uno stabilimento grafico, con chiari caratteri tipografici da cui deriva una assai più agevole lettura e — fattore certamente di non secondaria importanza — un contenuto molto più ampio, corrispondendo una pagina a stampa a tre o quattro pagine di quelle citate. Il lettore avrà, alla fine del Corso, un volume di ben 1248 pagine di grande formato!

Chiunque, indipendentemente dall'età, dalla professione e dalle scuole compiute **può seguire il Corso.** Alle esposizioni teoriche si abbinano numerose, attraenti, istruttive ed utili descrizioni che consentono la realizzazione di ricevitori, amplificatori, strumenti vari e persino di trasmittenti su onde corte.

A questo proposito è sintomatico il fatto che la Direzione non vuole assolutamente assumere la fisionomia di un fornitore o commerciante di materiale radio, rivendendo agli allievi le parti necessarie. Il materiale occorrente l'interessato può acquistarlo dove e come meglio crede e, assai spesso anzi, già ne dispone. Viene così evitato l'acquisto forzoso, caratteristico più o meno di tutti gli altri corsi.

Anche chi è già radiotecnico, anche chi ha seguito o segue altri corsi troverà il massimo tornaconto in questo completo ed aggiornato lavoro. Molte nozioni, è logico, saranno note, altre un po' meno e sarà utile rinfrescarle, e il tutto infine costituirà un manuale di consultazione, prezioso tanto per la teoria esposta quanto per i numerosi schemi, per le tabelle, per i grafici, gli elenchi, i dati, il vocabolario dei termini ecc.

Concludendo, si può affermare che questo **Corso di Radiotecnica** oltre che come insegnamento graduale si presenta come **enciclopedia e rivista assieme** ciò che permette di formare — con modestissima spesa — **il più completo, ricco, utile e pratico volume di radiotecnica di cui sia dato oggigiorno disporre.**

Premessa al Corso di Radiotecnica

Sono certamente molti i lettori che — desiderosi di avvicinarsi a questa attraente scienza — sono del pari impazienti di accingersi a qualche realizzazione, sia pur semplice, per ottenere la soddisfazione derivante dal veder funzionare un apparecchio elettronico da se stessi costruito.

Noi non li deluderemo in questo logico e comprensibile desiderio, però ciò — occorre convenirne — non può verificarsi già con le primissime lezioni; in queste, è più che opportuno dare, prima di ogni cosa, un esauriente cenno su ciò che è nei suoi elementi la radiotecnica, esporne i principi basilari e contemporaneamente avvicinare il lettore alla conoscenza del materiale, dei sistemi costruttivi, degli attrezzi e degli utensili.

Molte, tra le cose esposte, specialmente all'inizio, potranno sembrare superflue, ma è necessario considerare che un Corso si indirizza ad una cerchia vastissima di allievi e che tra essi vi possono essere, e vi sono, coloro cui la materia risulta del tutto nuova. E' logico quindi, se si vuol redigere un completo ed utile lavoro, esporre anche le più elementari cognizioni. Chi tali cognizioni già possiede trarrà, del resto, sicuramente vantaggio nel rivederle e nel rileggerle e sarà con noi nel convenire che per far sì che, a Corso terminato, sia costituito quel volume o manuale di riferimento che è nei nostri intenti sia messo a disposizione del lettore, anche le nozioni più semplici e generalmente note vi debbano figurare, per la massima utilità e completezza del volume.

Il nostro sistema si basa su di un criterio di praticità ed efficacia, consistente nel dare, in ogni fascicolo, una particolare, singola fisionomia alle tre lezioni che lo compongono. La prima di tali lezioni espone la teoria e, come si è detto, la esposizione risulterà accessibile a chiunque. La lezione che segue ha un indirizzo di praticità: essa serve a porre il lettore in contatto, se così si può dire, con la pratica, e gli consente di applicare quanto dalla prima lezione ha appreso. In questa lezione saranno perciò illustrati i materiali e gli esperimenti.

La terza lezione, infine, raggrupperà quello che potrebbe definirsi il materiale di raccolta e attualità, ossia schemi, tabelle, notizie, vocabolario, grafici, ecc.

Le tre lezioni di ogni fascicolo, pur così differenziandosi tra loro, avranno un nesso di collegamento: nella seconda e nella terza saranno sempre, in prevalenza, gli elementi esposti nella prima a costituire oggetto di argomento.

Questo ora esposto, il criterio di guida di tutto il volume che, terminato, risulterà formato da una serie di 416 pagine di teoria, 416 pagine di applicazione pratica e 416 pagine di raccolta dati e schemi: un totale di ben 1248 pagine di grande formato che, grazie anche ad un accurato indice e ad una apposita copertina-raccoglitore, permetterà di disporre di un insostituibile ed ineguagliato manuale-enciclopedia.

ONDE SONORE e ONDE ELETTROMAGNETICHE

Per introdurre il lettore alle nozioni più elementari della radiotecnica, si possono seguire sistemi diversi; in linea di massima, in tale compito si suole però impostare lo svolgimento della materia secondo un concetto che è, ovviamente, conseguenza di logica e di esperienza.

Vogliamo dire che, prima di affrontare la tecnica vera e propria, risulta opportuno esaminare la teoria delle **telecomunicazioni** (comunicazioni a distanza) nei suoi elementi e nei suoi fenomeni, ed è del pari indispensabile fare la conoscenza dell'**elettricità**, nelle sue leggi e nei principi che la governano.

Si tratta, come si vede, di due argomenti basilari che, naturalmente si intersecano e addirittura si fondono perchè, in realtà si ha sempre a che fare con manifestazioni di elettricità; purtuttavia, è molto opportuno — onde potersi formare idee chiare e fondate — scindere in tal modo il soggetto e seguirlo sotto i due citati aspetti.

Nell'esposizione incontreremo, mano a mano, oltre che concetti, termini e misure proprie della materia trattata: potrà darsi che il lettore conosca già tali termini ed il loro significato — alcuni, come « *volt* », « *lunghezza d'onda*, « *resistenza* », ecc. sono di larga popolarità — ma noi, stando alle nostre premesse, ne esporremo egualmente il significato, partendo dal principio che devono poter seguire il Corso anche coloro che tutto ignorano dei più elementari fenomeni elettrici.

Poichè, in definitiva, la radiotecnica, così come oggi la osserviamo e la conosciamo, ha avuto un formidabile sviluppo appunto per poter soddisfare sempre meglio le necessità di comunicazioni tra siti diversi, crediamo opportuno occuparci, prima di ogni altra cosa, proprio di tali comunicazioni.

OSCILLAZIONI - VIBRAZIONI

L'uomo possiede un mezzo di comunicazione e di intelligenza auditiva verso i suoi simili: *la voce*. La voce, al pari dei suoni e dei rumori, si propaga nell'aria e dalla fonte si estende, in ogni direzione, in modo concentrico, verso ogni punto circostante. La voce, perciò, generata dalle corde vocali di chi parla, perviene ai timpani dell'orecchio di chi ascolta. Si attua in tal modo il più semplice e noto sistema di comunicazione tra due o più punti.

Abbiamo accennato alle corde vocali: il termine richiama alla mente, per immediata associazione di idee, le corde di un qualsiasi strumento musicale con le quali, in effetti, le corde vocali hanno notevole analogia.

Per generare ciò che noi chiamiamo suono occorre

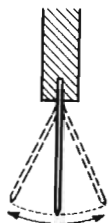



Fig. 1 - Una laminetta elastica, fissata rigidamente da un lato, rappresenta uno dei più evidenti esempi di corpo vibrante.

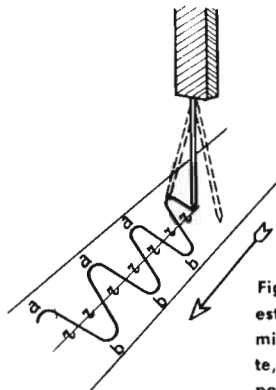



Fig. 1 bis . Se una estremità della lamina fosse scrivente, la oscillazione potrebbe essere « scritta » su di un nastro di carta

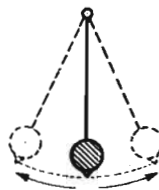



Fig. 2 - Il pendolo rappresenta un altro classico esempio di moto oscillatorio.

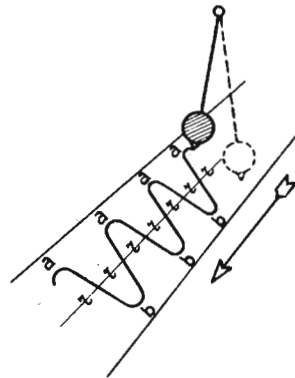



Fig. 2 bis . Così come la laminetta, il pendolo potrebbe scrivere l'oscillazione.

che tali corde siano poste in movimento, più esattamente occorre che compiano quel caratteristico movimento che viene detto correntemente **oscillazione o vibrazione.** Così agendo la corda (ed ogni altra fonte di suono) comunica all'aria che la circonda tale suo movimento, ed il moto vibratorio diventa proprio dell'aria, con trasmissione di particella in particella: si avranno, in conseguenza della vibrazione dell'oggetto-fonte, pressioni e susseguenti rarefazioni dell'aria stessa.

L'aria in questo caso è il mezzo necessario alla propagazione: nel vuoto infatti, non si verifica trasmissione di suono.

In virtù del suo comportamento, si può dire che **l'aria è un mezzo elastico.** Però la trasmissione del suono, si noti, può aver luogo anche attraverso altri mezzi, quali l'acqua, il legno, i metalli, i gas, ecc.; essi possono essere definiti perciò tutti, mezzi elastici.

Un qualsiasi altro oggetto, elastico, e cioè capace di vibrare, che si trovi nella zona d'aria messa in movimento da una fonte di suono, colpito dalla perturbazione, può entrare anche esso in vibrazione. Tale è appunto il timpano dell'orecchio, ed è così che, tramite l'aria, il suono viene a porre in funzione l'organo uditivo.

Evidentemente, le vibrazioni possono variare molto fra loro, possono essere cioè più o meno ampie (**intensità del suono**) e più o meno rapide nel loro verificarsi (**frequenza del suono**). Grazie a ciò noi distinguiamo suoni di diversa intensità e tonalità e ancora, i suoni che udiamo possono essere *puri* o *complessi* (formati da più oscillazioni contemporaneamente), gradevoli o sgradevoli.

Oltre che alla corda di uno strumento musicale si può pensare, per farsi una chiara idea di un mezzo vibrante, ad una laminetta elastica che, fermata rigidamente da un lato, libera dall'altro (vedi **figura 1**), provocata con un urto (*apporto di energia*), da inizio ad una serie di oscillazioni.

Si è voluto dare una rappresentazione grafica alle oscillazioni.

Supponiamo che l'estremità vibrante della laminetta di cui sopra sia dotata di una punta scrivente e che sotto tale punta scorra con moto uniforme e costante (*variazione di tempo*), un nastro di carta (**figura 1 bis**); otterremo che, in funzione del tempo (indicato nel senso di scorrimento della carta) la traccia indicherà le diverse posizioni o spostamenti (nel senso dell'altezza del nastro di carta) della lamina. Avremo realizzato, con un dispositivo simile, la più semplice espressione di **oscillografo,** ossia di uno strumento che ci consente di « scrivere l'oscillazione ». Tale strumento, assai perfezionato, è oggi di uso comune in radiotecnica e, naturalmente, lo vedremo in dettaglio nelle future lezioni.

Le posizioni della lamina sono, evidentemente i due limiti estremi, opposti, raggiunti con lo spostamento massimo, e tutte le altre posizioni intermedie, sempre verificandosi il passaggio per il centro « r ».

Di conseguenza, la distanza fra i due punti massimi « a » e « b » ci dà una misura dell'**ampiezza** dell'oscillazione mentre il numero di volte in cui, in un dato tempo (prendiamo come riferimento 1 secondo) le posizioni estreme sono raggiunte ci dice con quale **frequenza** (più o meno elevata) il fenomeno si svolge.

Si è potuto in tal modo avere una espressione illustrativa dell'oscillazione e l'andamento, armonico, così come appare alla figura 1 bis viene detto **sinusoidale.**

Considerando il punto della posizione di riposo o di centro, « r », della lamina, possiamo osservare che i picchi massimi si trovano una volta da un lato e l'altra volta dal lato opposto, in altri termini, possiamo chiamare una posizione, rispetto al centro, **positiva** e, per contro, la posizione opposta **negativa**: i due picchi sono di pari ampiezza e si manifestano di seguito per tutta la durata dell'oscillazione.

La lamina ripete i suoi movimenti e quindi ritorna, periodicamente, sulle stesse posizioni già percorse: si dice appunto **periodo di oscillazione** il tempo che necessita affinchè la laminetta ritorni su di una identica posizione.

L'insieme completo di valori durante un intero periodo è detto **ciclo.**

La frequenza si esprime pertanto in cicli (o Hertz = Hz). Infatti, prendendo a riferimento, come si detto, un minuto secondo per determinare la frequenza, è chiaro che essa potrà essere indicata con il numero dei cicli che si verificheranno in detto secondo, ossia in **cicli al secondo;** si individuerà in tal modo, in maniera precisa, la frequenza dell'oscillazione.

Anche un comune pendolo può dare una chiara idea

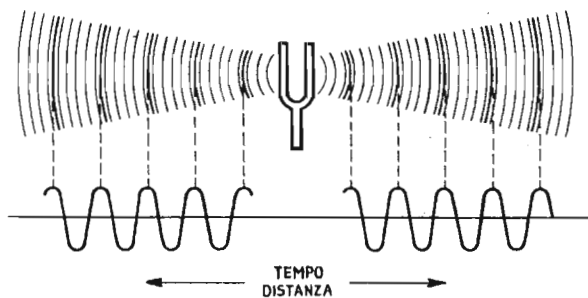



Fig. 3. - Scegliendo opportunamente materiale e dimensioni nella realizzazione di una forcella metallica si può - ponendola in vibrazione - far sì che la vibrazione stessa risulti di una data frequenza: è il caso del diapason, qui illustrato.

Fig. 4 _ Il termine « onda » per la oscillazione è reso molto evidente in questo caso.

del moto oscillatorio (**figura 2 e 2 bis**). In entrambi i casi citati si è in presenza di un moto oscillatorio meccanico, un moto cioè, assunto da un corpo materiale.

La frequenza, ossia il numero di cicli al secondo che un oggetto in grado di vibrare, se provocato o avviato opportunamente, assume, è risultante di diversi fattori tra i quali, in primo luogo, le sue dimensioni, la rigidità, il materiale, il peso, ecc. Si noti che, in linea di massima, l'oggetto manterrà sempre, se non cambiano i fattori intrinsechi citati, la stessa frequenza, pur se, nel tempo, non ripetendosi la causa (energia) che ha dato inizio alle oscillazioni, le oscillazioni diminuiranno gradatamente di ampiezza sino ad estinguersi per effetto frenante dell'aria o del mezzo in cui ha luogo l'oscillazione (tale effetto viene detto **smorzamento**).

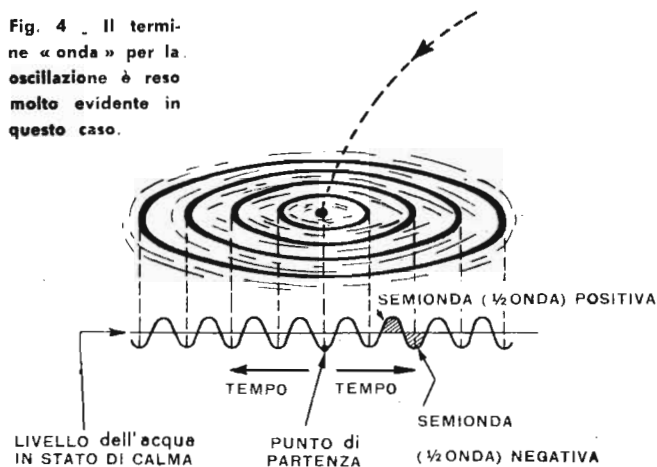
Questa frequenza propria dell'oggetto in grado di vibrare è detta la sua *frequenza di risonanza*.

Un esempio di oggetto, assai noto, creato appositamente per emettere determinate vibrazioni, è il diapason (**figura 3**). Esso fornisce il « La » musicale e per poter fare ciò viene costruito in modo che la sua frequenza di risonanza risulti di 440 periodi al secondo.

Difficilmente un oggetto in grado di vibrare entra in vibrazione unicamente se eccitato alla sua frequenza di risonanza: molte altre frequenze comprese in una zona più o meno ampia, ossia più o meno differenti dalla frequenza di risonanza, sono in grado di provocare in esso la vibrazione, purtuttavia l'oscillazione della maggiore ampiezza, ottenuta col minor impiego di energia di eccitazione — in altre parole — il miglior rendimento oscillatorio, si verificherà sempre per la frequenza propria di risonanza.

LE ONDE

Ci siamo fatti una prima idea dei diversi fenomeni oscillatori e non vogliamo lasciare l'argomento senza aver riportato un altro esempio che è classico nelle illustrazioni di questi concetti.

La **figura 4** riproduce appunto un altro caso di generazione di oscillazioni: si tratta di quelle oscillazioni che si formano allorchè sulla superficie calma di uno specchio d'acqua viene lanciato un corpo, ad esempio, un sasso. Si formano allora, attorno al punto di generazione, una serie di particolari ben note e visibili oscillazioni: **le onde.**

Esse, tradotte graficamente si presentano nè più nè meno come la risultante che già abbiamo visto per la laminetta o per il pendolo: anche qui dunque un andamento sinusoidale, con una punta (cresta) che potremmo dire positiva ed una (vallo) che potremmo dire negativa, rispetto al livello dell'acqua in stato di calma.

Una metà dell'onda può essere definita perciò positiva (**semionda positiva**) e l'altra metà, negativa (**semionda negativa**). Con questa più che evidente, significativa e comune analogia tra le oscillazioni dell'aria e quelle dell'acqua si può concepire e spiegare il concetto di onda applicato a tutte le oscillazioni (**figura 5**).

Un' onda, in altre parole, è una vibrazione che si propaga.

A questo punto viene fatto di chiedersi se esistono solo le oscillazioni di cui si è sin qui parlato. In natura si è in presenza invece di molti altri tipi di oscillazioni e tali manifestazioni non sono nè isolate nè sporadiche, ma tra loro analoghe e vicine secondo un andamento definito.

Già si è visto come un'oscillazione possa differire da un'altra per la sua frequenza (numero di manifestazioni o cicli al secondo); orbene, è provato che la luce, i raggi cosmici, il calore, gli ultrasuoni, i raggi ultravioletti, ecc. sono tutte manifestazioni di oscillazioni differenti tra loro nella frequenza e nella propagazione; esse costituiscono nell'assieme una successione continua. Di conseguenza, è possibile stabilire una determinata posizione di successione reciproca tra tutte le onde, ossia tra tutte le frequenze, dando termini di appropriate definizioni alle rispettive zone di questa scala o spettro continuo.

L'orecchio umano può percepire oscillazioni che si verificano con una frequenza minima di circa 20 cicli al secondo: è questo il suono più basso da noi udibile. Da esso, aumentando nella frequenza, si passa attraverso tutta la gamma percepibile dall' udito sino a 12.000 ÷ 15.000 cicli (suoni acuti: il limite di frequenza varia da persona a persona e decresce con l'età) oltre i quali, se pur vi è oscillazione, il nostro orecchio non la rivela in quanto il timpano non è più in grado di

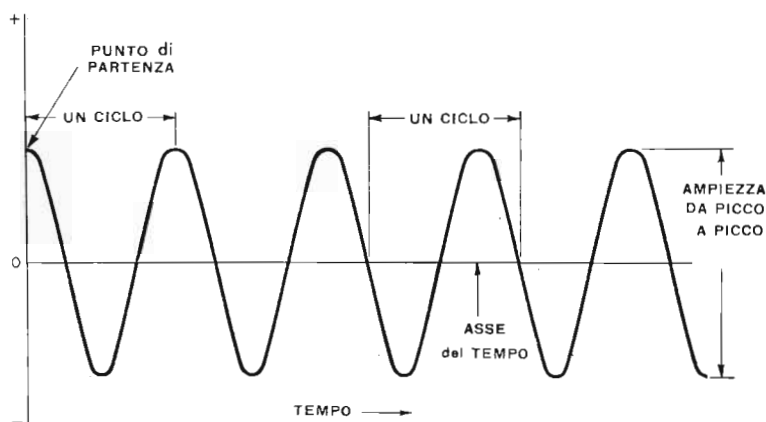



Fig. 5 - Un'onda è una vibrazione che si propaga. Rispetto ad un livello zero (o) una metà dell'onda può essere definita « positiva » (+) e l'altra « negativa » (—). Tra il massimo positivo e quello negativo (tra i picchi) si ha « l'ampiezza » dell'onda. La distanza tra due picchi (oppure tra inizio e fine) costituisce un « ciclo » completo dell'onda. Il numero di cicli che si verifica nel tempo di 1 secondo definisce la « frequenza » di quell'onda.

seguire oscillazioni di tale frequenza. Questa prima gamma di oscillazioni può perciò essere definita delle **onde sonore**. Ai fini della terminologia radio, accenneremo che una tale gamma, allorchè anzichè da vibrazioni di natura meccanica è costituita — vedremo più avanti in quale modo — da oscillazioni di natura elettrica, viene definita gamma di **audio frequenza** o **Bassa Frequenza** (abbreviazione **B.F.**).

Passiamo quindi nel campo degli ultrasuoni che possono essere annoverati già nelle radiofrequenze. Gli ultrasuoni possono definirsi tali fino a che si mantengono, grosso modo, nel comportamento e per ciò che concerne la loro diffusione e propagazione, con le caratteristiche dei suoni e ciò avviene sino a 20.000 ÷ 30.000 cicli al secondo. Di queste oscillazioni — ultrasuoni — si hanno diversi sfruttamenti industriali di cui diremo a suo tempo.

ONDE ELETTROMAGNETICHE

Proseguendo oltre nell'aumento di frequenza delle oscillazioni si entra nel campo delle oscillazioni elettriche dette « elettromagnetiche », e usate specialmente per gli impieghi radio.

Logicamente, il mezzo o il sistema per generare le oscillazioni varia a seconda della gamma di frequenza interessata; così, mentre per quanto riguarda tutte le frequenze acustiche o sonore si possono eccitare generatori meccanici, a frequenza più alte, segnatamente alle oscillazioni elettromagnetiche di cui sopra, il generatore è di natura essenzialmente elettrica.

Poichè sarebbe poco pratico esprimere sempre in cicli (o Hertz) frequenze rappresentate da numeri così elevati (esempio: 3.000.000 o 30.000.000 di Hz) si ricorre correntemente ad espressioni di multipli; così si hanno, nell'uso corrente, il chilohertz (1.000 Hz = 1 kHz) ed il Megahertz (1.000.000 di Hz = 1 MHz).

Abbiamo sin qui adoperato tanto il termine di ciclo che quello di Hertz: vogliamo ricordare che è solo quest'ultimo quello che, ufficialmente, per convenzione internazionale, deve essere impiegato. Ci esprimeremo perciò sempre, per indicare una frequenza, con il termine Hertz e con i suoi multipli. Ancora su molte pubblicazioni tuttavia — specialmente su riviste americane — è dato di riscontrare l'uso dei termini ciclo, chilociclo, megaciclo, cui dovrebbe sempre seguire, comunque, la precisazione « al secondo ».

Nello spettro di tutte queste oscillazioni si ha, come abbiamo detto, una classificazione che tiene conto della frequenza, ma più che la definizione di una determinata gamma di frequenze ovviamente è il comportamento di quella gamma che più interessa ai fini pratici.

Indagando sui fenomeni conseguenti a oscillazioni non percepibili ai nostri sensi, l'uomo pervenne alla possibilità di dar luogo alla generazione e utilizzazione delle onde di frequenza superiore ai 16 ÷ 20.000 Hertz a scopo di comunicazione a distanza: nacque la radio. Con essa ci si rese liberi dal vincolo della linea elettrica ossia dai cavi che sino allora avevano caratterizzato le comunicazioni telegrafiche e telefoniche.

Risale a Maxwell (1865) il merito di aver affermato che le oscillazioni elettriche di frequenza molto alta si possono propagare nello spazio; che la stessa luce altro non è che una manifestazione di oscillazioni elettromagnetiche e che la propagazione delle onde elettriche avviene con la velocità di quella della luce, ossia con una velocità di circa 300.000 chilometri al secondo.

Le teorie di Maxwell furono confermate in pratica da Hertz (da qui il nome di « onde hertziane » e la definizione di misura « Hertz » di cui si è detto) nel 1887, ed infine Marconi (1894), per primo riuscì a stabilire, a mezzo di onde elettromagnetiche, una comunicazione a distanza, utile ai fini pratici.

Uno sviluppo veramente grandioso seguì a quella scoperta che si avvalse mano a mano di molteplici e geniali invenzioni (la valvola termoionica, la modulazione, i transistori ecc.) per pervenire ai risultati dei nostri giorni; nè si può dire naturalmente che la situazione odierna rappresenti il limite conclusivo di questa evoluzione.

All'inizio di questa lezione abbiamo fatto rilevare come da una fonte di suoni si propaghino, in tutte le direzioni, le onde sonore, a causa della perturbazione di un mezzo elastico, ad esempio l'aria.

L'aria è dunque un mezzo necessario per consentire la trasmissione del suono: una sorgente di oscillazioni

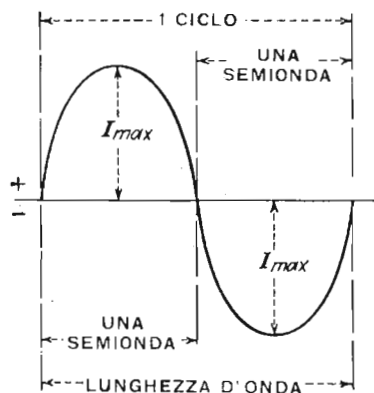
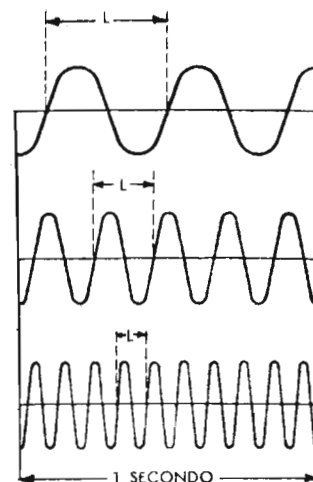



Fig. 6 - Nella manifestazione di 1 ciclo l'onda si propaga. Lo spazio che essa percorre - essendo nota la sua velocità - può essere determinato: esso rappresenta la « lunghezza d'onda ».

Fig. 7 - Aumentando la frequenza d'onda ne diminuisce la lunghezza « L » perchè, avendosi più manifestazioni di cicli sempre nello stesso tempo di 1 secondo, necessariamente la lunghezza degli stessi risulta accorciata, come si osserva nei tre casi illustrati.

sonore posta nel vuoto (assenza d'aria) non fa giungere ai nostri orecchi suono alcuno.

E' stato provato che le onde elettriche, e diverse altre perturbazioni e radiazioni, si propagano invece anche nel vuoto ed è questa un'altra particolarità notevole — oltre a quella già vista, di impossibilità di percezione diretta dei nostri sensi — che caratterizza e differenzia le due gamme.

Sotto tale aspetto, della propagazione, le onde elettromagnetiche si avvicinano assai più alle onde della luce: anche la luce si propaga indifferentemente in presenza o in assenza dell'aria. Già si è detto anche che eguale è la velocità di propagazione e possiamo ora aggiungere che comune è anche il mezzo — perchè mezzo ci deve essere — col quale la propagazione avviene. Tale mezzo, già definito un alcunchè di imponderabile, elastico, esistente ovunque e impercettibile ai nostri sensi, **l'etere cosmico**, è lo spazio stesso (Einstein) e lo spazio è perciò qualcosa di concreto con sue proprietà fisiche: non esiste il nulla o vuoto assoluto.

Le onde radio, da quelle luminose differiscono soltanto per la diversa frequenza: le onde della luce presentano una frequenza più elevata. Incidentalmente diremo anche che le diverse manifestazioni di frequenza nell'ambito della gamma di frequenza luce sono quelle che, così come avviene con le diverse frequenze acustiche che caratterizzano i suoni, ci consentono di distinguere i colori. Tali colori nello spettro dell'iride si trovano in ordine crescente di frequenza, dal rosso verso il viola.

Possiamo in conclusione ammettere che l'etere entra in vibrazione per la manifestazione oscillatoria della luce e di altre radiazioni, così come l'aria agisce nei confronti delle vibrazioni sonore.

LUNGHEZZA d'ONDA

Essendo nota la velocità con la quale le onde elettromagnetiche si propagano è possibile stabilire — per una qualsiasi frequenza o numero di Hertz (cicli al secondo) — lo spazio percorso durante la manifestazione completa del ciclo (**figura 6**); il dato ottenuto può anch'esso servire per identificare quella determinata oscillazione e prende il nome di **lunghezza d'onda.**

Data una frequenza in Hertz, la corrispondente lunghezza d'onda si avrà dividendo, semplicemente, la nota velocità di propagazione (300.000.000 metri al secondo) per la frequenza in oggetto:

$$\text{Lunghezza d'onda (in metri)} = \frac{\textit{velocità di propagazione}}{\textit{frequenza (in Hertz)}} = \frac{300.000.000}{\textit{frequenza}}$$

Indicando con λ (Lambda, dell'alfabeto greco) la lunghezza d'onda e con f la frequenza si potrà scrivere:

$$\lambda = \frac{300.000.000}{f}$$

Poichè la velocità di tutte le onde elettromagnetiche nello spazio libero è la medesima, la lunghezza d'onda diminuisce con l'aumentare della frequenza (vedi **figura 7**). Nota una sola delle grandezze in questione è possibile ricavare le altre. Così, la frequenza f potrà essere conosciuta se è nota la grandezza λ:

$$f = \frac{300.000.000}{\lambda}$$

Definendo T la durata di un periodo $\left(\frac{300.000.000}{\lambda}\right)$ avremo anche:

$$\lambda = 300.000.000 \times T.$$

Quanto sopra è riferito alle onde elettromagnetiche.

Ove si voglia del pari procedere per le onde sonore è necessario tenere presente la diversa velocità di propagazione, così, essendo la velocità di propagazione, del suono, nell'aria, di 340 m al secondo (anzichè 300.000.000), un suono di frequenza 340 Hertz avrà una lunghezza d'onda di 1 metro mentre per una eguale lunghezza d'onda sarebbero necessari 300 Megahertz (milioni di Hertz).

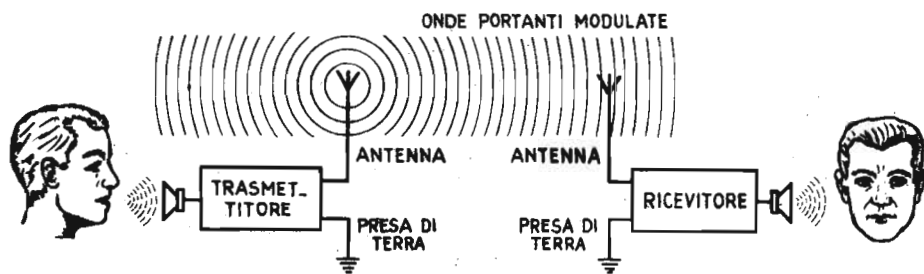



Fig. 8 - Le onde sonore o « informazioni » vengono, mediante la modulazione, abbinate - nel trasmettitore - alle onde elettromagnetiche da quest'ultimo generate. La informazione viene portata dalle onde elettromagnetiche (da cui il nome di « portante ») al ricevitore, ove ha luogo il processo inverso a quello che si svolge nel trasmettitore.

Per un impiego generale le relazioni potranno perciò essere così riassunte:

$$\lambda = \frac{V}{f}$$

$$V = \lambda f$$

dove *f*, come si è detto è la frequenza, (in Hertz), λ la lunghezza d'onda (in metri) e *V* la velocità di propagazione in metri al secondo.

TELECOMUNICAZIONI

La scoperta di Marconi venne a soddisfare la necessità **sentita dall'uomo,** di **poter** comunicare col suo simile a distanza maggiore di quanto non permettessero i mezzi sino allora a sua disposizione.

Il **telegrafo,** che già aveva consentito di inviare a **notevoli** distanze segnali convenzionali (alfabeto Morse) e messaggi, con la radiotelegrafia veniva superato, soprattutto nelle contingenze di contatti a lunghissima portata ove si rivelava subito più economica di impianto e di manutenzione la nuova invenzione.

Qualche tempo dopo, con l'innovazione della radiotelefonia, la stessa situazione si risolveva in modo analogo nei confronti del telefono.

Inoltre, questi nuovi sistemi aprivano la possibilità di comunicazioni anche tra mezzi in movimento e comunque impossibilitati ad essere collegati con un conduttore (esempio: navi, aerei, ecc.).

Le vibrazioni caratteristiche dei suoni e della voce, trasmettendosi all'aria permettono una comunicazione a distanza ma subiscono nel mezzo, come abbiamo visto, un dato smorzamento ciò che limita notevolmente la portata utile della comunicazione stessa. Se però, le oscillazioni sonore anzichè all'aria vengono affidate per il trasferimento a distanza, ad altre oscillazioni, di frequenza molto più alta — le onde elettromagnetiche — viene sfruttata non più l'aria come mezzo d'unione ma l'etere e, dato che l'etere non smorza praticamente tali oscillazioni (uno smorzamento comunque esiste, ma per altre cause), la velocità di propagazione e la portata del collegamento risultano entrambe enormemente accresciute.

Come le oscillazioni sonore — preventivamente trasformate in variazioni di natura elettrica — possano venire in certo qual modo incorporate alle oscillazioni elettromagnetiche vedremo in particolare in una prossima lezione; per ora ci basti ricordare che tale procedimento tecnico è definito col nome di **modulazione;** l'onda così « modulata » assume il particolare compito di portare l'informazione ricevuta, da un punto all'altro, (vedi **figura 8**) da cui il nome, d'uso ormai comune, di **onda portante.**

Se vi è dunque una generazione — ad opera dell'uomo — di onde elettromagnetiche ed una manipolazione delle stesse ai fini di una maggiore e più completa utilizzazione, possiamo comprendere quanto sia importante studiare e conoscere il comportamento nell'etere di tali onde.

Accendendo una lampadina inviamo nello spazio circostante delle irradiazioni luminose. Alla distanza di un metro, di due metri, di tre metri e così via saremo in grado di scorgere sempre la luce e gli oggetti da essa illuminati; correntemente diremo che vediamo ciò che si trova nel campo illuminato.

Anche nel caso delle onde elettromagnetiche abbiamo un **campo:** si può dire che esso sia perciò alla base dei fenomeni elettrici che ci proponiamo di studiare. Il campo in questo caso non è visibile e solo con difficoltà può essere, in alcuni casi, reso tale, purtuttavia se ne possono dimostrare efficacemente gli effetti, le azioni e la presenza e, quel che più conta, prevederne il comportamento. Di conseguenza, noi sappiamo che in un punto può verificarsi un effetto la cui causa trovasi in un altro punto grazie al fatto che i due punti si trovano in uno stesso campo, senza che peraltro si possa scorgere alcun legame visibile.

Abbiamo sin qui definito le particolari onde che ci interessano come vibrazioni elettromagnetiche: è opportuno far osservare ora che il termine « elettromagnetico » è il risultato della fusione o accostamento degli aggettivi elettrico e magnetico; in altre parole, le onde di cui ci occupiamo sono così definite perchè in realtà interessano un campo elettrico ed uno magnetico. Nell'assieme possiamo parlare dunque di campo elettromagnetico, e di onde elettromagnetiche.

Sarebbe prematuro, già in questa lezione iniziale, inoltrarci nell'esame della natura dei due citati campi: per una buona comprensione di questi fenomeni, occorre anzitutto vedere ciò che è l'elettricità, come si crea, come si comporta e come si classifica, il che faremo

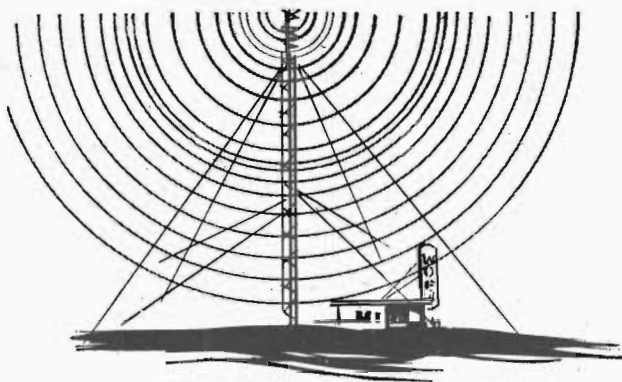



Fig. 9 - Presso la trasmittente un apposito elemento - « antenna » - irradia nell'etere le onde elettromagnetiche.

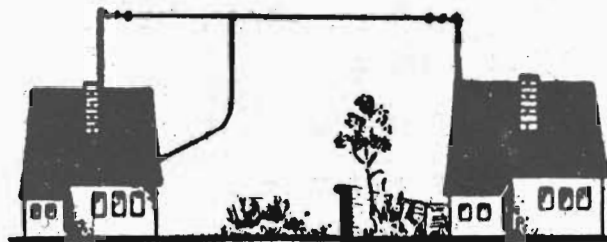



Fig. 10 - Dall'etere le onde elettromagnetiche emesse vengono « captate » a mezzo della antenna ricevente.

però assai presto, vale a dire con la prima lezione del prossimo fascicolo.

Accenneremo ancora che nell'etere le onde elettromagnetiche vengono immesse a mezzo di una realizzazione appositamente predisposta, che tali onde diffonde o meglio irradia: si tratta appunto di un elemento radiante (vedi **figura 9**) comunemente noto col nome di **antenna** (trasmittente).

Analogo elemento (**figura 10**) è presente al punto di ricezione: la funzione è però inversa e qui l'antenna (ricevente) ha lo scopo di raccogliere (captare) l'energia elettromagnetica che si trova nello spazio circostante, proveniente, — con la propagazione — dalla trasmittente, sotto forma di onda.

La notevole energia che può oggi essere inviata, sotto forma di onde elettromagnetiche, nello spazio, e la caratteristica possibilità dei moderni ricevitori di poter essere influenzati, anche a grande distanza, da tali onde (sensibilità), ha portato alla scomparsa — nell'uso più corrente — dell'antenna ricevente così come essa è illustrata alla figura 10: in suo luogo l'antenna è spesso sostituita da un filo o conduttore assai meno esteso e talvolta — come vedremo — addirittura incorporato nell'apparecchio ricevente stesso.

ONDE HERTZIANE

Abbiamo detto che le oscillazioni da **20 Hertz circa** a **15.000 Hertz (15 kHz)** sono **definite sonore e se** elettriche « audio »; che **da 15.000 Hz a 30.000 Hz si** hanno gli ultrasuoni e infine che con i 30.000 Hz (30 kHz) iniziano le oscillazioni elettromagnetiche.

Le onde elettromagnetiche presentano una gamma molto ampia di frequenza; esse si estendono (*) dai detti $3 \cdot 10^3$ Hz (30 kHz) sino a $3 \cdot 10^{22}$ Hz, passando per varie manifestazioni fisiche note, così come appare nel seguente elenco:

Onde hertziane	da $3 \cdot 10^3$	a $3 \cdot 10^{12}$ Hz
Raggi infrarossi	da $75 \cdot 10^{10}$	a $37 \cdot 10^{13}$ Hz
Luce visibile	da $37 \cdot 10^{13}$	a $75 \cdot 10^{13}$ Hz
Raggi ultravioletti	da $75 \cdot 10^{13}$	a $3 \cdot 10^{16}$ Hz
Raggi X	da $3 \cdot 10^{16}$	a $6 \cdot 10^{19}$ Hz
Raggi gamma	da $6 \cdot 10^{19}$	a $3 \cdot 10^{22}$ Hz
Raggi cosmici	superiori	a $3 \cdot 10^{22}$ Hz

Come si vede, le onde che interessano direttamente le comunicazioni radio, ossia le onde hertziane, rappresentano solo una minima parte dell'intero spettro delle irradiazioni elettromagnetiche. Nonostante questo, il loro comportamento ha modo di variare notevolmente a seconda di zone di frequenza relativamente ristrette all'interno della gamma. Queste differenziazioni hanno portato alla necessità di suddividere con convenzione internazionale le onde stesse in gruppi, classificandoli come segue:

Onde chilometriche	minori di 0,3 MHz		(superiori a 1000 m)
Onde ettometriche	da 0,3	a 3 MHz	(da 100 a 1000 m)
Onde decametriche	da 3	a 30 MHz	(da 10 a 100 m)
Onde metriche	da 30	a 300 MHz	(da 1 a 10 m)
Onde decimetriche	da 300	a 3000 MHz	(da 0,1 a 1 metro)
Onde centimetriche	da 3000	a 30000 MHz	(da 0,01 a 0,1 m)
Onde millimetriche	da 30000	a 300000 MHz	(da 0,001 a 0,01 m)

Ai fini pratici dell'impiego di apparecchi riceventi però si ricorre correntemente a raggruppamenti più determinanti e ristretti, cioè a quelle denominazioni

(*) *Nello studio della radiotecnica, sia dal punto di vista tecnico che da quello pratico, si incontrano spesso valori rappresentati da numeri talmente grandi (o talmente piccoli) che sarebbe alquanto scomodo scriverli per intero; per ovviare a ciò si ricorre sovente all'uso delle* potenze.

La potenza è costituita da una « base » e da un « esponente »; è inteso che il numero di base deve essere moltiplicato per se stesso tante volte quante ne indica il numero dell'esponente. Ad esempio, 10^2 (10 è la base e 2 l'esponente) significa il prodotto del numero 10 per se stesso (cioè 10 × 10 = 100); analogamente, 10^3 indica 10 × 10 × 10 e cioè 1000, e così via.

Quando l'esponente è 2 si dice anche che la base è elevata « al quadrato »; quando è 3, che è elevata « al cubo ».

La potenza può servire anche ad indicare — come abbiamo detto — numeri molto piccoli. In tal caso, l'esponente è negativo, cioè preceduto dal segno meno (—). La potenza in questo caso semplifica la trascrizione di cifre decimali con diversi zeri in quanto il valore indicato corrisponde all'esito di una divisione che viene eseguita dividendo il numero 1 per la potenza citata.

Così, ad esempio, 10^{-5} (leggi 10 alla meno 5) corrisponde a:

$$\frac{1}{10^5} = \frac{1}{10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10} = \frac{1}{100.000} = 0,00001$$

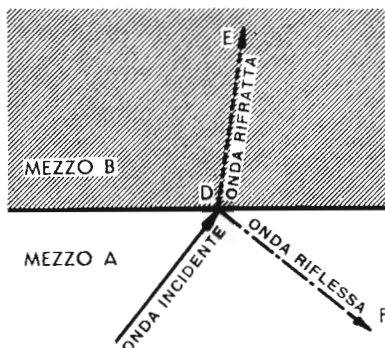



Fig. 11 - Un'onda (incidente) incontrando un corpo solido (D) può esserne riflessa (F); passando da un mezzo A ad un mezzo B può essere rifratta (E)

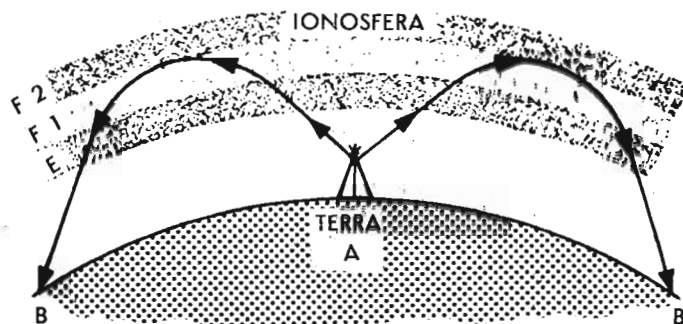



Fig. 12 - Le onde che pervengono alla ionosfera vengono spesso rifratte e per questi cambiamenti di direzione (da E ad F_1-F_2) possono tornare sulla terra permettendo una comunicazione a lunga distanza tra A e B.

che sono universalmente note come:

Onde lunghe . .	da 0,15 a 0,3	MHz	(da 1000 a 2000 m)
Onde medie . . .	da 0,52 a 1,6	MHz	(da 187 a 576 m)
Onde corte . . .	da 3 a 30	MHz	(da 100 a 10 m)
Onde ultracorte	da 30 a 300	MHz	(da 10 a 1 m)

Tutta la gamma di queste frequenze comunque nella terminologia radio corrente è denominata **radio frequenza** o anche, in contrapposto alla « Bassa Frequenza » di cui si è già detto, **Alta Frequenza** (abbreviazione = **A.F.**).

Riportiamo, nella nostra 3ª lezione (vedi **Tabella 4**) un'altra classificazione delle onde hertziane, con riferite le relative abbreviazioni in lingua inglese alcune delle quali, come V.H.F. ed U.H.F. stante l'influenza mondiale della tecnica americana, stanno diventando di uso corrente anche da noi.

COMPORTAMENTO delle RADIOONDE

Le radioonde possono subire una **riflessione** da parte di corpi solidi. Nelle frequenze alte (*onde corte*) le onde vengono immediatamente riflesse da qualsiasi corpo solido da esse incontrato, mentre nelle frequenze basse (*onde lunghe*), la riflessione non avviene altrettanto facilmente in quanto la maggior parte dei corpi solidi sono piccoli se confrontati con la lunghezza dell'onda stessa.

La terra riflette le onde di tutte le frequenze.

I fenomeni di riflessione della luce da parte di specchi e di oggetti lucidi, e quelli di riflessione del suono denominati « eco » sono ben noti: la riflessione delle radioonde è del tutto simile ad entrambi.

La riflessione si verifica perchè un'onda elettromagnetica incidente crea delle « correnti » nel corpo che colpisce, e queste « correnti » agiscono come minuscole sorgenti di onde elettromagnetiche che, a loro volta, ritrasmettono le onde incidenti. Questo è il motivo per cui i materiali denominati « buoni riflettori » sono quelli in cui è facile indurre delle « correnti ».

Nel loro espandersi le onde elettromagnetiche possono subire poi anche il fenomeno della **rifrazione**. Entrambi i fenomeni accennati sono schematizzati alla **figura 11**.

La rifrazione non è altro che un cambiamento di direzione delle onde allorchè esse passano da un mezzo ad un altro. Si sa che la luce viene rifratta dal vetro e dall'acqua: analogamente avviene per le radioonde che attraversino due mezzi diversi, aventi diverse caratteristiche di conduttività, come ad esempio due strati di aria aventi diversa densità.

Gli strati di aria caricati elettricamente, che si trovano molto al di sopra della terra, hanno caratteristiche di conduzione diverse da quelle dell'aria che si trova proprio al disopra della superficie terrestre, e costituiscono la « ionosfera » che si trova all'incirca a 100 km di altezza, e giunge fino a circa 300 km. Le onde radio che attraversano la ionosfera vengono rifratte e la loro direzione può essere modificata tanto da farle ritornare alla terra; dette onde, che vengono a volte chiamate « onde riflesse », raggiungono la terra a grandi distanze dal trasmettitore (vedi **figura 12**) e rendono possibile le comunicazioni a lunga portata.

Accenniamo infine alla **diffrazione**.

Poichè l'espressione « diffrazione » assomiglia a « rifrazione », e poichè entrambi i fenomeni indicano una flessione della direzione delle radioonde, è facile confondere i due termini. Tuttavia chiariremo il concetto dicendo che diffrazione significa che le radioonde vengono deviate attorno ad un oggetto che si trova sul loro percorso, mentre rifrazione significa che la direzione viene modificata quando esse attraversano due mezzi di proprietà conduttive differenti.

Le onde diffratte non passano mai attraverso l'oggetto che le diffrange, mentre ciò avviene per le onde rifratte.

Un esempio di diffrazione è costituito dalla deviazione delle increspature dell'acqua intorno ad un oggetto immerso. La diffrazione delle onde radio è del tutto simile.

Le montagne, o altre grosse barriere incontrate durante il percorso, creano le cosidette « zone d'ombra », ma un piccolo quantitativo di onde può essere deviato in detta zona grazie alla diffrazione. La diffrazione delle onde radio è più pronunciata alle frequenze basse, mentre le frequenze elevate subiscono solo una leggera deviazione. Ciò ha reso possibile la realizzazione del « radar » per il quale vengono usate onde di elevatissima frequenza che vengono dirette sul bersaglio per poi essere da questo riflesse in linea retta. Qualora le onde risultassero diffratte intorno all'oggetto, si avrebbero dei fenomeni di eco nelle zone d'ombra, ed il funzionamento del radar sarebbe impreciso.

ATTREZZATURA - ACCESSORI - UTENSILI

Nella realizzazione delle apparecchiature radioelettriche si riscontrano spesso elementi che hanno la particolarità di essere comuni alla quasi totalità degli apparecchi. La stessa cosa può dirsi per ciò che concerne gli attrezzi o utensili atti alle operazioni di montaggio, riparazione ecc.

Escludendo per il momento quelli che sono veri e propri componenti radio — che incontreremo e analizzeremo singolarmente più avanti — citiamo in primo luogo i **conduttori**, che evidentemente giuocano in ruolo importantissimo in tutto il campo dell'elettronica.

Sono i conduttori (o fili elettrici, come spesso vengono chiamati) che, come dice il loro nome, « *conducono* » l'elettricità e consentono di portare nella propria funzione ogni qualsiasi organo componente l'apparecchio: in questo specifico compito sono definiti **collegamenti** ed è facile intuire che l'interruzione o la mancanza anche di un solo collegamento può compromettere in maniera notevole, quasi sempre vitale, il funzionamento di un intero complesso.

I conduttori inoltre sono presenti quali parte integrante e preponderante di diverse parti staccate: con essi si realizzano trasformatori, resistenze, bobine varie ed altri organi che esamineremo oltre.

Le caratteristiche che i conduttori elettrici devono presentare possono variare da impiego a impiego perchè a volte può essere necessario che essi siano buoni conduttori di elettricità come a volte può essere necessario addirittura il contrario (che offrano cioè un certo ostacolo al passaggio dell'elettricità ossia una certa *resistenza*).

Possono necessitare conduttori rigidi oppure flessibili, di grande o di piccolissima sezione, singoli o multipli, nudi o isolati (protetti cioè da un materiale dalle caratteristiche elettriche opposte alle loro, un *isolante*), di sezione rotonda o di sezione quadra ecc. ecc.

Nella pratica corrente potrà perciò essere spesse volte necessario al radiotecnico svolgere o avvolgere, troncare o unire, tendere, isolare, individuare o calcolare conduttori diversi; per far ciò egli si avarrà di semplici utensili che risultano peraltro indispensabili. Così, sarà necessario che il tecnico si procuri a questo proposito quel corredo minimo col quale il suo futuro lavoro risulterà grandemente facilitato.

ATTREZZI DIVERSI

Non intendiamo dilungarci sulla descrizione di attrezzi che tutti certamente conoscono, ma sarà opportuno accennare brevemente a quelli le cui caratteristiche sono maggiormente conformi alle necessità del radiotecnico.

Le **pinze** di cui si può aver bisogno saranno scelte tra quelle realizzate in varie forme, come ad esempio a punta rotonda, particolarmente adatte per piegare le estremità dei fili di collegamento, a punta piatta, (internamente zigrinata o liscia), a punta aguzza, curva, ed infine è indispensabile la cosiddetta pinza a molla, in tutto simile a quella adottata dai collezionisti di francobolli, particolarmente utile per tenere i terminali dei fili di collegamento nella loro posizione migliore durante la saldatura a stagno: la **figura 1**, illustra due tra i tipi più correnti di pinze, e la **figura 2**, la caratteristica pinza a molla di cui si è detto.

Un altro attrezzo importante è il **tronchesino**, il cui compito consiste nel consentire il taglio netto di un corpo solido, come ad esempio un conduttore, onde conferirgli la lunghezza desiderata. Ve ne sono di grandi, atti a tagliare perfino dei trafilati in ferro di notevole spessore, e di piccoli, destinati unicamente al taglio dei conduttori in rame piuttosto sottili: la scelta del tipo da usare deve essere fatta in modo tale che il taglio effettuato non ne pregiudichi il funzionamento.

Un tipo di tronchesino è illustrato in **figura 3**.

Le comuni **forbici** sono anch'esse di notevole utilità: negli impieghi radio si ricorre spesso ad un tipo assai robusto e corto (**figura 4**), che presenta la caratteristica di consentire, mediante un apposito intacco — visibile in figura — un'azione di taglio dei conduttori, agendo in maniera analoga al tronchesino.

Il **cacciavite** risulta anch'esso tra gli attrezzi indispensabili (**figura 5**); viene realizzato in diversi modi ed in diverse dimensioni, per cui è opportuno disporne di una serie completa, con impugnatura isolata, costituita dalla maggior parte delle misure standard comunemente adottate.

È inoltre opportuno disporre di due o tre tipi molto lunghi (circa 20 cm) e con stilo sottile, atti a raggiungere le viti attraverso eventuali componenti ingombranti fissati allo chassis, (telaio dell'apparecchiatura) evitando così lo smontaggio di tali componenti.

Un tipo di cacciavite indispensabile al radiotecnico è realizzato interamente in materiale isolante, e serve unicamente per la messa a punto (*taratura*) dei radioricevitori in quanto, essendo costituito da materiale non conduttore, (vedi **figura 6**) evita certi fenomeni che verranno in seguito descritti: esso viene realizzato in varie forme, conformemente agli oggetti usati nei componenti radio per i quali viene impiegato (nuclei di bobine, compensatori, ecc.).

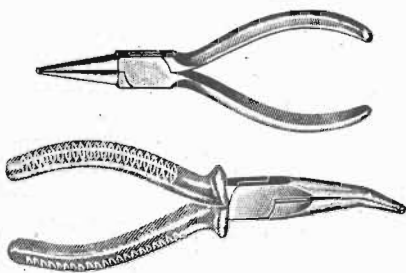



Fig. 1 - Due tra i più comuni tipi di pinze per il lavoro del radiotecnico: il tipo a punte tonde, utile in particolare per fare occhielli alle estremità dei fili di collegamento, e quello a punta curva, per accedere a dadi in posizioni difficilmente accessibili.

Fig. 2 - La caratteristica « pinza a molla », per l'esecuzione dei collegamenti.

Fig. 3 - Il « tronchesino » che, come dice il nome, serve a troncare i conduttori.

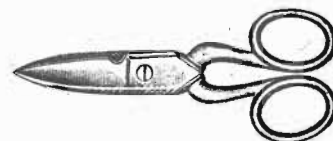



Fig. 4 - Le forbici da elettricista. Un particolare intaglio le rende utili anche come tronchesino per fili piccoli.

Fig. 5 - Uno tra i più comuni tipi di cacciavite è quello di medie dimensioni. Lo isolamento del manico è indispensabile, così come è consigliabile anche per tutte le pinze, perchè permette di accedere anche ad organi sotto tensione.

La **chiave a tubo** è un attrezzo del tutto simile al cacciavite, con l'unica differenza che, alla sua estremità, al posto di una lama da inserire nel taglio di una vite, si trova una cavità a forma esagonale che si adatta perfettamente al perimetro di un dado Si trovano in commercio serie complete che vanno da un minimo di 3 mm ad un massimo di 15, e vi sono invece tipi con un'unica impugnatura e con estremità intercambiabili nelle varie misure, (vedi **figura 7**), a volte anche con uno snodo speciale che permette di stringere o di allentare i dadi pur tenendo l'attrezzo in posizione inclinata rispetto all'asse della vite e del dado stesso.

Il cosiddetto **cacciavite a pressione** è invece un attrezzo particolarmente utile per mettere in posizione le viti quando lo spazio disponibile è insufficiente a che il posto venga raggiunto dalla mano dell'operatore. Esso consiste di un comune cacciavite con un'anima interna che, azionata da una molla al momento opportuno, tiene la vite strettamente all'estremità dello strumento finchè non viene liberata ad opera dell'operatore stesso (vedi **figura 8**).

Le **chiavi esagonali**, (dette chiavi inglesi) fisse e regolabili, sono certamente abbastanza note perchè fanno parte degli attrezzi necessari in un laboratorio radiotecnico.

Tali attrezzi, ripetiamo, sono disponibili in commercio in varie forme e dimensioni. Essi comunque vengono scelti da chi deve farne uso, e le loro caratteristiche dipendono massimamente dal tipo di lavoro che si prevede dovrà svolgere chi li acquista.

Un attrezzo importante è la **pinza spellafili** simile ad un tronchesino ma provvista di un fermo speciale (**figura 9**). Il suo compito, come dice lo stesso nome, è di togliere l'isolamento che circonda certi tipi di conduttori, al fine di poter unire l'estremità del conduttore ad un componente mediante una vite o saldatura. Essa viene regolata in modo che la parte tagliente agisca fino al raggiungimento della parte metallica del conduttore senza tagliarlo. A questo punto inteviene il « fermo » e basterà tirare per togliere l'isolamento dal punto voluto in poi.

Per fare una descrizione completa di tutti gli attrezzi di laboratorio occorrerebbe uno spazio molto superiore a quello fin qui dedicato, comunque, ogni volta che se ne presenterà l'occasione, descriveremo gli attrezzi più adatti al laboratorio radiotecnico, sia dal punto di vista della sola riparazione, sia da quello della costruzione sperimentale o addirittura di serie.

IL SALDATORE e le OPERAZIONI di SALDATURA

Un utensile di larghissimo impiego, sia per realizzare montaggi nuovi che per effettuare riparazioni, è il **saldatore.** In pratica si tratta sempre di un saldatore elettrico che è possibile trovare però costruito secondo criteri diversi.

Il saldatore deve consentire le operazioni di saldatura a stagno che sono relative all'unione di due o più conduttori tra loro o di conduttori con organi dell'apparecchiatura. Poichè è di frequente impiego, il saldatore dovrà perciò presentare, tra le sue caratteristiche, qualità di sicurezza nel funzionamento e garanzia di durata.

I tipi normalmente in commercio si possono classificare in saldatori veri e propri, di una certa forma abituale e classica, ed in saldatori a pistola.

I primi sono caratterizzati da una massa di rame (punta), che viene riscaldata indirettamente mediante una resistenza connessa ad una presa di energia elettrica (che è quasi sempre la rete luce). Il riscaldamento è permanente nel senso che, sia nel momento della saldatura che nelle pause di detto lavoro, il saldatore permane collegato alla corrente e, naturalmente, consuma energia che dissipa in calore. Tuttavia non è procedura pratica interrompere l'erogazione di corrente a tale saldatore perchè, essendo esso dotato di una notevole inerzia termica, si avrebbero, per ogni nuova inserzione lunghi periodi di attesa per il raggiungimento della temperatura di regime.

Tale tipo conviene perciò per lavori continuati, quando cioè le operazioni di saldatura sono frequenti e numerose, (ad esempio, montaggio continuato di ricevitori o di parti di essi, ecc.). Anche in queste applicazioni però si tende ad evitare un eccesso di calore, che porta ad una rapida ossidazione della punta saldante, dotando il saldatore di un *termostato* ossia di un dispositivo automatico di interruzione parziale e di attacco della corrente, azionato, entro determinanti limiti, dalla temperatura stessa.

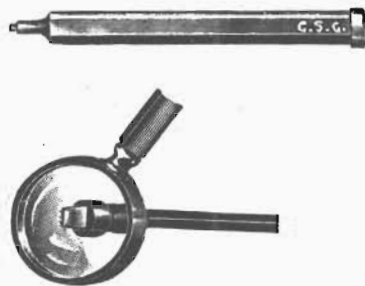



Fig. 6 - Un cacciavite praticamente per intero in materiale isolante è indispensabile nelle operazioni di taratura o messa a punto delle apparecchiature, per evitare dannosi effetti di masse metalliche.

Fig. 7 - Chiave a tubo con il suo corredo di punte intercambiabili. E' molto utile nelle operazioni di montaggio o di smontaggio per tenere fermi i dadi delle viti che consente di stringere a fondo.

Fig. 8 - Cacciavite di particolare impiego per collocare viti in posizioni non accessibili correntemente: stringe la vite sino a che non viene liberata dall'operatore.

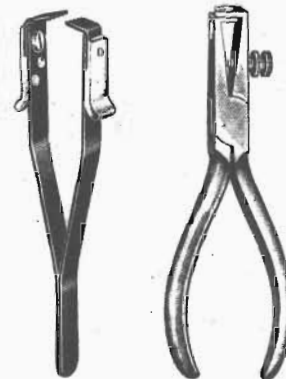



Fig. 9 — Due pinze spellafili. Predispongono i fili isolati, mettendo a nudo la parte metallica.

La **saldatura a stagno** è alla base di tutte le applicazioni elettroniche in quanto permette la realizzazione di collegamenti tra conduttori e tra questi ed i vari componenti, abbinando alla massima rapidità la massima sicurezza di contatto. Essa consiste nell'avvicinare le parti da saldare in modo che si tocchino, e nell'annegare le parti immediatamente a contatto in una goccia di stagno fuso che, appena raffreddata, costituisce un nodo unente, soprattutto dal punto di vista elettrico, le varie parti in un corpo solo.

Il termine *« stagno »* è in realtà usato in modo improprio poichè non si tratta di stagno solo, bensì di una lega di tale metallo con piombo, generalmente nella rispettiva proporzione di 60% e 40%, e tale lega è stata scelta unicamente in quanto rappresenta la combinazione ideale per ottenere la più bassa temperatura di fusione senza per altro compromettere il risultato. La lega per saldare viene posta in commercio in due forme essenziali: lo stagno in verghe e lo stagno preparato. Il primo consiste di bacchette di lega grezza, dalla quale il materiale viene prelevato a gocce, ed il secondo di un filo del diametro variante da 4,5 a 3 mm, ottenuto con una macchina detta trafila. Il secondo (vedi **figura 10**) è più usato in quanto permette la realizzazione di ottime saldature con la massima comodità.

E' necessario tenere nella dovuta considerazione il comportamento della lega per quanto riguarda il tenore di stagno, specie nel caso di saldature delicate e veloci (radio, telefonia, televisione, ecc.) dove il basso punto di fusione della lega e il minimo intervallo di pastosità, permettono di ottenere con la massima rapidità, saldature che solidificano in pochi secondi, formando superfici brillanti e compatte.

La lega 60/40, la cui composizione centesimale è la più vicina a quella eutettica, è quindi come si è già detto, la più indicata.

Nell'uso del filo autosaldante, i saldatori debbono essere ben dimensionati e tali che la temperatura della punta si mantenga, sia in lavoro che in riposo, 30° ÷ 50° più alta del punto di fusione della lega usata. Una maggiore temperatura dei medesimi, provoca il rapido consumo della punta per lo scioglimento del rame che entrando in lega con lo stagno, modifica le caratteristiche della saldatura e la rende opaca alla superficie. Tenuti invece a temperatura inferiore, diminuiscono la velocità di saldatura col rischio di ottenere *« saldature fredde »* (saldature che pur sembrando riuscite all'aspetto, non sono, in realtà efficaci nè sicure in quanto la fusione non ha incorporati gli elementi da unire).

Pertanto, sarà bene controllare sovente le punte dei saldatori, affinchè non risultino troppo lunghe o di sezione insufficiente, quindi non adatte a somministrare la quantità di calore necessaria per una buona e perfetta saldatura. Al contrario, punte troppo corte e tozze, determinano temperature elevate.

TABELLA 1 - PUNTO di FUSIONE e SCELTA della LEGA in RAPPORTO ALL'USO

Lega Stagno Piombo	Punto di fusione (circa)	Intervallo di pastosità (circa)	Uso particolare
20/80	290°	97°	Lampade elettriche, accumulatori, dinamo.
33/67	253°	70°	Motori elettrici, dinamo, lampade elettriche, elettromeccanica.
40/60	238°	55°	Equipaggiamenti elettrici in genere e lavori vari.
50/50	212°	32°	Radio, telefonia, apparecchiature in genere.
60/40	188°	9°	Radio, televisione, strumenti elettrici delicati.
70/30	186°	7°	Usi speciali telefonia.

Il diametro del filo autosaldante dovrà essere sempre proporzionato alla superficie delle saldature da eseguire. Con tale accorgimento, si otterranno saldature più razionali, evitando così l'accumulo di volumi eccessivi, o la caduta di gocce dal saldatore. Per l'uso corretto del filo autosaldante, è assolutamente necessario atte-

Fig. 10 - Stagno tubolare con anima.

Fig. 11 - Pasta per facilitare le saldature.

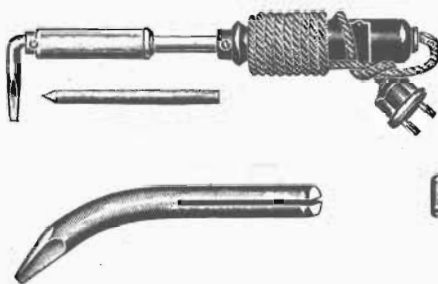



Fig. 12 - Saldatore elettrico a resistenza e tipi di punte intercambiabili a seconda delle esigenze del particolare impiego.

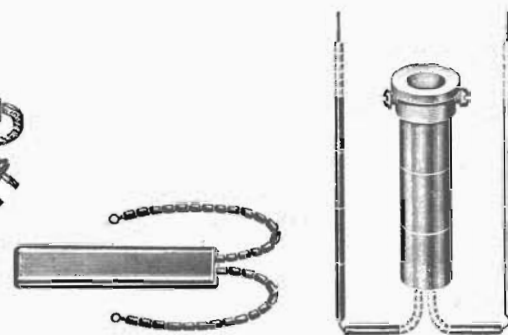



Fig. 13 - Resistenze di riscaldamento per saldatori. Il tipo piatto viene infilato nell'intaglio praticato nella punta di rame di cui alla figura a fianco; il tipo cilindrico riceve invece nel suo interno la punta.

nersi al sistema classico, cioè, filo e saldatore quasi contemporaneamente sul punto da saldare.

Per effettuare una buona saldatura, oltre ad un saldatore ed alla lega sopra descritta, occorre una sostanza accessoria, detta «*pasta-salda*», il cui compito è di facilitare la distribuzione uniforme dello stagno sulle superfici da unire evitando contemporaneamente l'ossidazione provocata dalla temperatura piuttosto elevata del saldatore; la composizione di tale pasta è a base di colofonia, (comunemente detta «pece greca») e, nel caso dello stagno preparato oggigiorno più usato, è contenuta in una percentuale, rispetto alla lega, del 2 ÷ 2,5%, in una o più cavità del filo stesso.

All'atto della saldatura, poichè il coefficiente di dilatazione della resina contenuta è maggiore di quello della lega stessa, non appena il filo di stago viene posto a contatto della punta del saldatore, essa raggiunge lo stato semiliquido ed esce dalla cavità distribuendosi sulle superfici da saldare, dopo di che viene immediatamente ricoperta dal metallo fuso, il quale si solidifica appena allontanata la sorgente di calore.

Nella tecnica della saldatura è bene tenere presente quanto detto sopra, per il motivo, che appare evidente, come sia opportuno saldare portando la lega sulle parti preriscaldate, e non depositare lo stagno sulla punta del saldatore per poi portarlo sulla saldatura stessa. Infatti, mentre nel primo caso la resina contenuta si distribuisce sulle parti da unire, facilitando la saldatura, nel secondo caso essa brucia, ed evapora sulla punta calda dell'attrezzo durante il tempo necessario per portare quest'ultima in contatto col punto di lavoro. È inoltre necessario tener presente che, affinchè la saldatura non risulti «fredda» ossia, come già si è detto, non amalgamata con le varie parti da unire, è necessario che queste ultime raggiungano la temperatura di fusione della lega, onde permettere la sua distribuzione uniforme. Per questo motivo occorre *innanzitutto appoggiare il saldatore sulla parte da saldare, e quindi portare l'estremità del filo di stagno su questa ultima,* possibilmente non sulla punta dell'attrezzo, facendo in modo che la lega fonda non per effetto diretto del saldatore, bensì per la trasmissione di calore attraverso le parti da saldare.

A volte si verifica la necessità di effettuare saldature di parti di dimensioni notevoli, come ad esempio di piastrine di rame o di ottone, o di dover saldare un conduttore di un certo spessore direttamente sulla massa metallica dello chassis (purchè esso non sia di alluminio). Essendo allora le masse in gioco piuttosto grandi, occorrerà un saldatore di dimensioni sufficienti per ottenere sul pezzo la temperatura necessaria, nonostante la notevole dispersione di calore, ed inoltre occorrerà aiutare l'azione della resina contenuta nello stagno preparato con l'aggiunta di altra resina, o pasta-salda, solitamente venduta in scatolette (**figura 11**) apposite per gli impieghi radio.

Date queste varie necessità di saldatura è spesso opportuno disporre di più di un saldatore, scegliendo i tipi necessari a seconda dell'impiego che si ritiene di doverne fare; diamo ora, in proposito, una sommaria descrizione dei diversi tipi.

TIPI di SALDATORI

a) Saldatore normale.

Come già accennato, esso consiste di una impugnatura in legno o in bachelite, ossia fatta di sostanze con bassa conduttività di calore al fine di proteggere la mano dell'operatore, all'estremità della quale è inserito un tubo in ferro nichelato che, a sua volta, supporta una punta di rame che può essere diritta o curva (vedi **figura 12**). Detta punta è in parte contenuta nel tubo di ferro, mentre il resto sporge per la lunghezza di qualche centimetro all'esterno. La parte contenuta nel tubo è ricoperta da materiale isolante (generalmente mica), sul quale si trova avvolta *la resistenza* di riscaldamento, in molto simile a quella dei comuni ferri da stiro elettrici, protetta a sua volta da un secondo rivestimento isolante per evitare il contatto col tubo di supporto. Il compito della resistenza è di diventare incandescente per effetto della corrente elettrica, e di trasmettere il calore alla punta di rame onde portarla, dopo un certo tempo, alla temperatura necessaria per fondere lo stagno.

La quantità di calore sviluppato dalla resistenza deve essere proporzionale alla massa del rame (punta) da riscaldare in quanto una temperatura troppo bassa causerebbe saldature imperfette, ed una temperatura troppo alta comporterebbe una eccessiva ossidazione del rame, impedendone così il funzionamento.

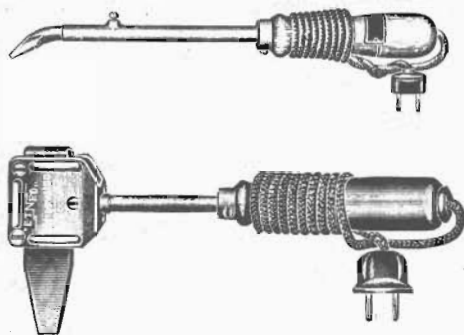



Fig. 14 - Altri modelli di saldatori a resistenza. Quello in basso è caratterizzato da una punta grande che consente saldature su ampie superfici.

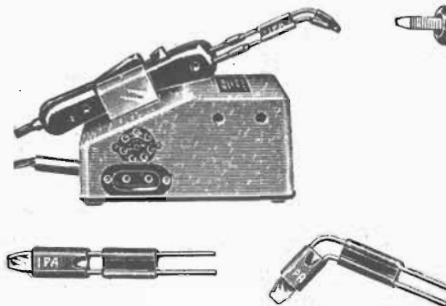



Fig. 15 - Saldatore a bassa tensione, caratterizzato da un riscaldamento pressochè istantaneo e punte di ricambio. E' molto indicato per i radioriparatori.

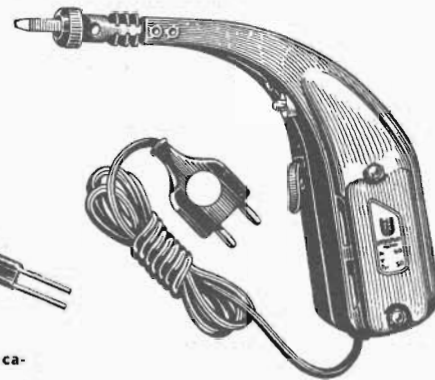



Fig. 16 _ Altro tipo a bassa tensione, con riduttore della tensione nell'impugnatura.

È noto infatti che il rame, una volta raggiunta una certa temperatura, si combina con l'ossigeno presente nell'aria ricoprendosi di uno strato di ossido (di colore molto scuro) che agisce tra l'altro come cattivo conduttore del calore. Per questo motivo la punta del saldatore deve ogni tanto essere pulita, non con una lima, la quale a lungo andare la consumerebbe, bensì battendola con un martello relativamente leggero ed asportando solo lo strato di ossido.

Un buon sistema per ritardare al massimo il processo di ossidazione consiste nel tenere costantemente l'estremità della punta ricoperta da un sottile strato di stagno fuso, ravvivandolo di tanto in tanto; su tale stagno però non bisogna fare affidamento per eseguire la saldatura, per i motivi già detti (assenza di « pasta-salda ») per cui all'atto della saldatura si procederà con l'apporto dello stagno ricavato dal filo autosaldante

Le resistenze di riscaldamento, che sono intercambiabili, e che fanno capo a due viti di ancoraggio presenti nell'impugnatura, dalle quali si diparte il cavo di allacciamento alla presa di corrente, possono essere di diverso tipo, come è mostrato in **figura 13.** Il tipo precedente accennato è il più comune, ma vi sono resistenze cosidette a « linguetta », ossia racchiuse in un'armatura metallica che va inserita in un taglio longitudinale praticato nella parte della punta contenuta nel tubo di ferro del saldatore, oppure a « libro », ossia racchiuse in una custodia metallica piegata in due in modo da formare una specie di libro, le cui facciate interne vengono appoggiate contro la massa di rame da riscaldare.

Le punte di rame poi, possono essere tonde, piatte, trapezoidali, ecc. a seconda delle dimensioni del saldatore e del compito al quale vengono adibite. La **figura 14** riporta altri due tipi di saldatori, di cui uno correntemente detto per « masse ».

Questi saldatori, come già si è detto, devono essere continuamente alimentati dalla corrente in quanto impiegano qualche minuto a raggiungere la temperatura di funzionamento, per cui sono indicati nei laboratori in cui si svolge un lavoro continuo, nel quale il fattore tempo è della massima importanza. Essi vanno appoggiati su di uno speciale supporto, generalmente a forma di « M » maiuscola, che li tiene in posizione tale a che la mano dell'operatore possa impugnarli facilmente, e nello stesso tempo, fa si che la parte attiva risulti ad una certa distanza dal banco per evitare che questo si bruci.

Anche questo accessorio di appoggio ha una certa importanza: la sua forma deve essere tale da costituire, agli effetti della temperatura trasmessa per contatto, uno sfogo per il calore erogato dalla resistenza, in misura tale da diminuire il processo di ossidazione della punta nei momenti di pausa tra una saldatura e l'altra.

b) Saldatore istantaneo.

Questo tipo di saldatore, pur essendo basato per quanto riguarda l'uso, sui medesimi principi del precedente — ossia sulla fusione della lega saldante ad opera di una massa riscaldata — ha un impiego ed una realizzazione differenti.

Esso consta innanzitutto di un riduttore di tensione, ossia di un *trasformatore* che preleva la tensione della rete di illuminazione (la quale può variare da 110 a 280 volt) dalla presa di corrente, e la riduce ad un valore notevolmente inferiore, ossia da 6 a 12 volt. (Esamineremo quanto prima questa unità di misura della corrente elettrica, il « *volt* », nonchè il funzionamento dei trasformatori in genere).

Tale tensione, detta « *bassa tensione* », viene convogliata nel saldatore vero e proprio, analogo al precedente, se pure di dimensioni e peso molto inferiori.

La punta di questo attrezzo è costituita anch'essa da una massa di rame, ma molto piccola, la quale viene riscaldata, appunto perchè piccola, in pochi secondi da una resistenza posta intorno ad essa, resistenza che, per effetto della corrente elettrica circolante, diventa incandescente.

La differenza principale dal saldatore precedente sta nel fatto che questo secondo tipo, pur essendo anch'esso sempre collegato alla presa di corrente, funziona solo quando l'operatore, premendo un apposito pulsante posto sulla impugnatura, inserisce la tensione della rete luce all'ingresso del riduttore di tensione, e — conseguentemente — alla sua uscita, ossia sulla apposita resistenza.

Anche in questo caso l'industria si è sbizzarrita nella creazione di vari tipi e forme, naturalmente alla ricerca della massima comodità di chi usa l'attrezzo, ed a seconda del lavoro da compiere.

Vi sono ad esempio, tipi di saldatori istantanei in cui il riduttore è costituito da una scatoletta dalla quale partono due cavi (a due conduttori ciascuno); uno dei cavi va collegato alla presa di rete luce, mentre l'altro

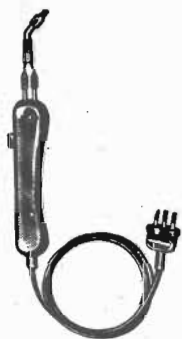



Fig. 17 - Saldatore a bassa tensione di tipo particolarmente leggero.

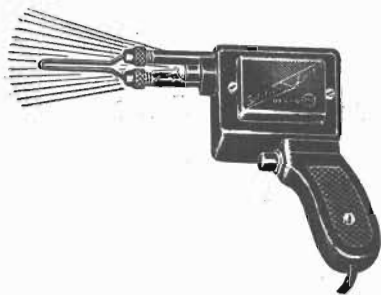



Fig. 18 - Saldatore a bassa tensione con riduttore incorporato e lampadina di illuminazione della zona di lavoro.

Fig. 19 - Saldatore a bassa tensione, di estrema leggerezza. E' simile ad una matita ed è indispensabile per saldature ad organi piccoli e delicati.

Fig. 20 - Alcuni tipi di « pagliette » per ancoraggio con saldatura di fili di collegamento tra loro: generalmente anche tra filo e « massa ».

alimenta il saldatore. Sulla sommità di questa scatoletta si trova un supporto per l'attrezzo, comodo per appoggiarlo quando non lo si usa; la **figura 15** mostra un esemplare di detto tipo.

Una seconda versione, visibile alla **figura 16**, è il tipo detto a « pistola » data la sua forma che richiama appunto l'idea di una tale arma.

Esso contiene il riduttore di tensione nell'impugnatura, e la parte attiva può essere tanto una piccola massa di rame riscaldata da una resistenza, quanto un conduttore di rame di un certo spessore, che si riscalda direttamente per effetto della alimentazione a *bassa tensione* ma a *forte corrente*.

Alcuni tipi di saldatori istantanei, come ad esempio quello mostrato in **figura 17**, aggiungono la preziosa particolarità di una maneggevolezza e leggerezza estreme, si da poterli paragonare, molto opportunamente, ad una comune penna da scrivere. Essi consumano energia elettrica solo durante la saldatura, ossia quando si preme sul pulsante per ottenere il riscaldamento, e la naturale inerzia termica del metallo fà si che il tempo impiegato per raggiungere la temperatura di regime sia pari a quello impiegato per tornare a raffreddarsi.

Un altro notevole vantaggio dei saldatore istantanei rispetto ai saldatori normali è la durata molto maggiore della resistenza, la quale, essendo costituita da un breve avvolgimento di filo di nichelcromo di notevole sezione, è certamente meno delicata di quella dell'altro tipo avvolta in molte spire di filo, pure di nichelcromo, ma del diametro di pochi centesimi di millimetro.

A causa della brevità dei periodi di riscaldamento, che avvengono inoltre sempre in presenza di stagno, il periodo di ossidazione della punta viene ridotto al minimo, con la conseguenza di una maggior durata anche della punta stessa.

La **figura 18** mostra ancora un tipo di saldatore a pistola, ma perfezionato, munito cioè anche di una lampadina di ridotte dimensioni che si illumina contemporaneamente al riscaldamento della punta, ossia quando si agisce sull'apposito pulsante. Esso aggiunge alle comodità precedentemente descritte per questo tipo, quella di ottenere una buona illuminazione, spesso necessaria, nel punto in cui si deve effettuare la saldatura.

L'estendersi della miniaturizzazione in campo elettronico, e cioè la crescente tendenza, tuttora in atto, ad adottare parti componenti sempre più piccole ha portato alla necessità di disporre, anche per ciò che riguarda il saldatore, di tipi speciali. Uno di questi è illustrato alla **figura 19**; esso può essere definito « a matita » in quanto pressapoco, nelle dimensioni e nella forma, assomiglia appunto ad una matita. I vantaggi sono intuitivi: estrema leggerezza con conseguente assenza di fatica nell'uso, possibilità di penetrazione nei punti più complessi dell'apparecchiatura, irradiazione del calore a parti circostanti pressochè nulla, basso consumo e sicurezza di funzionamento unita a sicurezza verso l'operatore in quanto anche questi modelli funzionano a bassa tensione. E' previsto pertanto anche qui un trasformatore riduttore, con secondario a 6 o 12 volt. I modelli sono molteplici, ma differiscono più che altro nelle dimensioni della punta che è quasi sempre intercambiabile. Il loro peso varia dai 7 ai 21 grammi e le punte hanno dimensioni da 1,6 a 5 mm. Si può affermare che per la saldatura di connessioni ai transistori (i nuovi, minuscoli dispositivi amplificatori che esamineremo) e relativi accessori, questo tipo di saldatore sia addirittura indispensabile.

ACCESSORI per CABLAGGI

Il termine « *cablaggio* » deriva dalla parola inglese « *cable* » che significa cavo o collegamento: con esso si intende quell'allacciamento tra i vari componenti di una apparecchiatura elettronica che viene effettuato mediante i conduttori i quali, come detto precedentemente, possono essere di varia natura.

Ogni componente, sia esso una *presa,* uno *zoccolo,* una *boccola,* un *ancoraggio* o altro, è munito di un mezzo di collegamento, e riteniamo opportuno accennare a questi accessori allo scopo di facilitare al lettore l'interpretazione di tutto ciò che verrà detto in seguito in merito ai cablaggi veri e propri.

Gli accessori di cablaggio si dividono innanzitutto in due categorie principali: accessori di massa o **« nudi »** e accessori isolati.

Come si vedrà più avanti, in ogni dispositivo elettronico molti collegamenti vanno allacciati alla **« massa »**, ossia allo chassis o telaio che supporta l'intero apparecchio. Tale allacciamento può essere realizzato nel modo più semplice mediante saldatura, ma ciò è possibile solo quando lo chassis è costituito da un metallo che possa essere saldato con stagno, ossia ferro, rame,

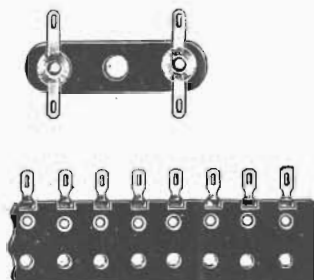



Fig. 21 - Basetta isolante di ancoraggio dei fili di collegamento. Sul tipo illustrato in basso o su tipi simili, a volte vengono montati anche piccoli componenti.

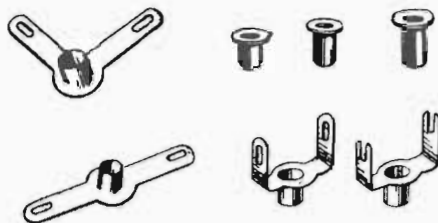



Fig. 22 - Rivetti a forma diversa, recanti anche, in un tutto unico, le pagliette di saldatura. Possono essere fissati sia sul metallo che sul materiale isolante, a seconda delle esigenze.

Fig. 23 - Boccole per « banane », tra le quali una - in basso - isolata.

Fig. 24 - Morsetto normale e morsetto isolato dal suo fissaggio. Consentono sicuri collegamenti semifissi e, come le boccole, sono a volte variamente colorati per una rapida individuazione della loro funzione.

ottone, ecc., ma non alluminio o sue leghe. Sia in quest'ultimo caso, sia quando si tratti di realizzazioni in cui l'economia è un fattore che può essere un po' trascurato a vantaggio dell'estetica e della perfezione, gli allacciamenti a massa vengono effettuati mediante alcuni accessori che qui illustreremo.

Terminali. I terminali, o *pagliette*, sono piccole lamine metalliche del tipo illustrato in **figura 20.** Essendo realizzate in ottone o rame nichelato, possono essere saldate ad una estremità e fissate al telaio mediante una vite con dado che viene inserita nel foro esistente all'altro estremo. Ve ne sono di vari tipi e di varie misure, come si vede nella figura stessa, ed alcuni sono doppi, tripli, o addirittura a « stella », a seconda che il punto di massa debba raccogliere uno o più conduttori. Il loro compito è dunque quello di unire un certo numero di collegamenti che devono essere fatti sulla massa metallica dell'apparecchio.

Nel caso invece in cui detti allacciamenti debbano essere effettuati tra di loro, ma in un punto isolato della massa, il terminale assume l'aspetto della basetta di ancoraggio, assai simile a quello descritto ora, con la differenza del montaggio su di una piastrina di materiale isolante (non conduttore di elettricità), generalmente bachelite, o cartone bachelizzato, o anche ceramica o steatite, la quale, a sua volta, può essere fissata meccanicamente allo chassis mediante una vite con dado o con un *rivetto*; la basetta può portare, a seconda delle dimensioni, anche un numero considerevole di pagliette (vedi **figura 21**).

Il **rivetto** non è altro che un tubetto di metallo che può essere di varie dimensioni, (vedi **figura 22**) col bordo allargato ad una estremità. Una volta inserito nel foro in cui deve essere applicato, l'altra estremità viene allargata a sua volta con un attrezzo speciale detto « *punzone* » o con una apposita macchinetta detta « *rivettatrice* », in modo da fissare saldamente le parti tra loro. Si ha così un'unione meccanica di parti, ossia un fissaggio. Il rivetto viene raramente usato per stabilire un contatto elettrico essendo destinato principalmente all'ancoraggio meccanico.

Boccole. Per boccole si intendono quegli accessori che, fissati ad un supporto qualsiasi, fanno capo, sul retro, ad uno o più collegamenti mediante vite o saldatura, e nel medesimo tempo costituiscono, frontalmente, alloggiamento per una « *spina* » o « *banana* », inseribile quando necessario (diremo tra breve di tale « spina »).

La **figura 23** ne mostra alcuni esemplari, semplici ed isolati; dall'osservazione si potrà dedurre l'impiego. Come si vede, esse constano in sostanza di una vite metallica attraversata da un foro (di diametro standard), il quale può essere passante o cieco. Ad una estremità si trova la « testa », generalmente a bordo rotondo per ragioni estetiche, testa che prosegue con un corpo cilindrico di diametro inferiore e filettato esternamente per poter esser fissato con dadi.

La boccola può essere una semplice presa di massa, nel quale caso la sola pressione del dado di fissaggio con interposta una « *ranella* » è già sufficiente per assicurare un certo contatto con lo chassis, oppure può costituire un punto terminale di massa, ed allora alla sua estremità retrostante vengono convogliati uno o più conduttori che possono essere fissati mediante saldatura o mediante apposite pagliette da inserirsi tra il dado e la massa o tra un primo dado ed un secondo, detto « controdado ». Quest'ultimo, se usato comunque, consente anche un più sicuro fissaggio meccanico dell'assieme in quanto impedisce che a seguito di eventuali vibrazioni si possa verificare un allentamento del primo dado.

Naturalmente, può accadere che una boccola debba costituire una « presa » di entrata o di uscita di determinate « *correnti* », nel qual caso deve ovviamente essere isolata dallo chassis. Ciò è ottenuto nel modo illustrato dall'ultimo tipo delle tre riportate alla figura 23. Si ha cioè una boccola normale che non viene fissata direttamente, bensì mediante anelli isolanti (speciali « ranelle ») che stringono tra loro la lamiera del telaio senza permettere il contatto di quest'ultimo con la boccola stessa.

Nel caso delle boccole isolate, si troveranno spesso anelli isolanti in vari colori, che risultano in pratica molto comodi in quanto permettono di distinguere il compito assegnato alle diverse boccole montate in prossimità tra loro, una volta stabilito un proprio codice dei colori stessi.

Morsetti. I morsetti sono analoghi alle boccole, dato che hanno quasi il medesimo impiego e compito. Come le prime possono essere diretti o isolati (vedi **figura.24**): la differenza consiste nel fatto che la parte esterna è

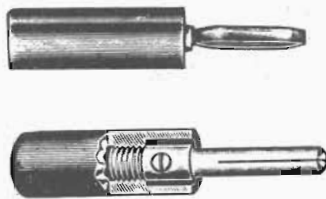



Fig. 25 - Particolari tipi di spine dette « banane ». Servono per collegamenti soggetti a distacco saltuario. Nell'illustrazione dello spaccato, in basso, è visibile la vite che serve a premere il conduttore: essa è accessibile svitando la guaina isolante.

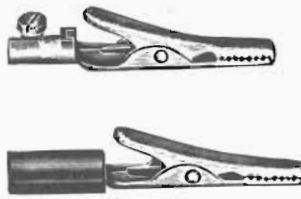



Fig. 26 - Due « coccodrilli » di cui uno con impugnatura isolata. Sono molto utili per collegamenti di prova e vengono usati frequentemente in laboratorio.

Fig. 27 - Un banco di lavoro, tipico, con predisposizione per il collocamento degli strumenti e degli accessori vari.

costituita da un pomello zigrinato avvitato sul corpo del morsetto stesso. Alcuni morsetti sono forati internamente in modo da poter funzionare come boccole contemporaneamente, ed altri permettono soltanto il collegamento di uno o più conduttori esterni che vengono fissati sotto il pomello da svitarsi prima e da stringersi poi per assicurare il contatto tra la sua anima metallica e la vite. Come si vede hanno la prerogativa di consentire sicuri collegamenti semifissi.

Anche i morsetti vengono posti in commercio in vari colori per i motivi cui abbiamo già accennato.

Banane. Per banane si intendono le *spine monopolari*, come quelle visibili in **figura 25**, le quali, mentre costituiscono il terminale di un conduttore flessibile, possono essere inserite nell'alloggiamento di una boccola o di un morsetto assicurando così un buon contatto temporaneo. Le banane sono poste in commercio in varie fogge e colori, e la parte metallica da inserire nella boccola porta uno o più tagli longitudinali che danno alla spina una discreta elasticità, allo scopo di causare un certo attrito con le pareti interne del foro in cui la banana viene introdotta; ciò assicura un buon contatto elettrico.

La parte isolata della banana, ossia l'impugnatura, può essere svitata mettendo così a nudo l'anima metallica alla quale il conduttore viene fissato mediante una vite a pressione o mediante saldatura.

Coccodrilli. Durante i cablaggi sperimentali, o durante la ricerca di un guasto, si presenta spesso la necessità di eseguire collegamenti provvisori. Essi possono essere effettuati mediante saldatura, ma a volte può essere più comodo servirsi di un semplice contatto a pressione. A questo scopo sono stati creati i « coccodrilli », che prendono tale nome a causa di una evidente analogia.

Essi sono costituiti da una molletta la cui azione si risolve nella pressione di due « ganasce » come avviene con le mollette con cui si fissano i panni ad una corda. Il coccodrillo è in metallo, e l'impugnatura può essere nuda o isolata; la **figura 26** rende chiaro il funzionamento e l'aspetto.

Gli accessori descritti fin qui sono i più comuni, e saranno i primi ad essere utilizzati dal lettore non appena gli sarà possibile addentrarsi in qualche realizzazione pratica, ma è ovvio che sarà necessario completare l'elenco, in realtà molto più esteso, ogni volta che se ne presenterà l'occasione.

IL BANCO di LAVORO

Allo scopo di razionalizzare al massimo il lavoro del radiotecnico, è necessaria una comoda disposizione degli attrezzi e di tutto il materiale occorrente, ed a questo scopo è opportuno, quando è possibile, procurarsi un banco di lavoro organizzato in modo tale che ogni cosa sia a portata di mano, ogni strumento sia ben visibile ed accessibile, e che vi sia spazio sufficiente per appoggiare un apparecchio da riparare o da costruire. La **figura 27** mostra un esempio di tale banco; lo scopo è solo quello di dare un'idea di come dovrebbe essere, pur essendo suscettibile di tutte le modifiche estetiche e dimensionali, subordinate ai gusti e alle necessità di chi deve usarlo.

E' facile notare l'ampio piano di appoggio, la battuta posta inferiormente al bordo anteriore del tavolo dove è possibile applicare comodamente un certo numero di prese di corrente per il saldatore, l'apparecchio in lavorazione, ecc.

Gli scaffali prevedono un alloggiamento in alto, a sinistra, per la sistemazione di libri tecnici, quali schemari, tabelle, formulari, prontuari, ecc., mentre tutti gli altri posti sono riservati agli strumenti veri e propri, i quali verranno progressivamente descritti.

Nell'esempio mostrato, non figurano cassetti in quanto è prevista una cassettiera separata contenente condensatori, resistenze valvole, viteria ecc. ma è logico che essa può essere unita al banco stesso lateralmente o ad angolo, a seconda dei casi.

La cosa da tenere in massima considerazione è il fatto che detto banco deve costituire di per se stesso un piccolo laboratorio, al fine di raggruppare tutto ciò che è di immediata necessità per un tecnico, tralasciando tutto quel materiale che per quanto necessario, può necessitare in realtà solo in determinati casi.

Naturalmente viene realizzato in legno, possibilmente stagionato e duro, affinchè assorba il meno possibile la umidità dell'aria. A questo scopo viene normalmente verniciato con speciali vernici anigroscopiche, e ricoperto sul piano di appoggio di linoleum o di laminati plastici, fissati sul perimetro da un profilato di alluminio o in lega di alluminio.

SIMBOLI - ABBREVIAZIONI

A.F. = Alta Frequenza; a volte: R.F. = Radiofrequenza
A.F. = Audio Frequency (su testi in inglese) = Audiofrequenza
B.F. = Bassa Frequenza; a volte: Audiofrequenza
C° = gradi centigradi - temperatura
c/s = cicli al secondo - frequenza
f = frequenza (in Hz - kHz - MHz - c/s - kc/s Mc/s)
F = gradi Fahrenheit - temperatura
H.F. = High Frequency = Alta Frequenza = A.F.
Hz = Hertz; a volte c/s = cicli al secondo
kc/s = kilocicli al secondo = 1.000 Hz
kHz = kilohertz = 1.000 Hz = kc/s
L.F. = Low Frequency = Bassa Frequenza = B.F.
M.F. = Media Frequenza (frequenza intermedia).
Mc/s = Megacicli al secondo = MHz = 1.000 kc/s
MHz = Megahertz = 1.000 kHz = 1.000.000 Hz
R.F. = Radiofrequenza = A.F.
S.H.F. = Super High Frequency = Frequenza altissima
T = tempo (in h = ore, oppure in s = secondi)
U.H.F. = Ultra High Frequency = Frequenza ultra alta
V = velocità (di propagazione)
V.H.F. = Very High Frequency = Frequenza molto alta
V.L.F. = Very Low Frequency = Frequenza molto bassa
λ = (lambda) = lunghezza d'onda (in m, cm, ecc).
1" = 1 pollice inglese = 25,4 millimetri

FORMULE

$$\lambda = \frac{300.000.000}{f} \quad \textit{(in metri)}$$

$$\lambda = \frac{V}{f}$$

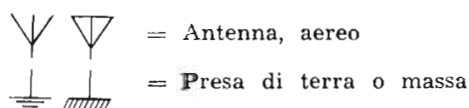
$$\lambda = 300.000.000 \times T$$

$$V = \lambda\, f$$

$$f = \frac{300.000.000}{\lambda} \quad \textit{(in Hertz)}$$

SEGNI SCHEMATICI

= Antenna, aereo

= Presa di terra o massa

DOMANDE sulle LEZIONI 1ª e 2ª

N. 1 -
Quante e quali sono le caratteristiche principali di un'onda?

N. 2 -
Cosa si intende per « ampiezza » e per « frequenza »?

N. 3 -
Cosa si intende per « semionda »? Come la si distingue?

N. 4 -
Possono le onde elettriche e quelle sonore propagarsi attraverso il vuoto?

N. 5 -
In quale caso un'onda viene detta « sinusoidale »?

N. 6 -
Quali sono le frequenze che limitano la gamma dei suoni percepibili dall'orecchio umano?

N. 7 -
Cosa si intende per « B.F. » ed « A.F. »?

N. 8 -
Quando avviene che un corpo vibri spontaneamente senza essere direttamente sollecitato?

N. 9 -
Cosa è la lunghezza d'onda?

N. 10 -
Scrivere la formula della lunghezza di un'onda elettromagnetica nello spazio libero, in funzione della frequenza, esprimendo la prima in metri e la seconda in kHz.

N. 11 -
Cosa si intende per onda portante?

N. 12 -
Cosa si intende per modulazione?

N. 13 -
Cosa si intende per onda modulata?

N. 14 -
In che cosa consiste la rivelazione?

N. 15 -
Cosa si intende in matematica per « potenza »?

N. 16 -
A quanto equivalgono le seguenti espressioni? 4^{3}, 3^{4}, 5^{2}, 7^{1}, 10^{-2}, 10^{3}, 10^{-5}, 3^{-3}.

N. 17 -
Cosa è la « rifrazione » di un'onda?

N. 18 -
Cosa è la « diffrazione » di un'onda?

N. 19 -
In corrispondenza di quali frequenze è più pronunciato l'effetto di diffrazione?

N. 20 -
Quali sono i tipi più comuni di saldatori elettrici per uso radio?

Come abbiamo esposto nella Premessa del Corso, questa terza lezione di ogni fascicolo presenta un carattere integrativo delle lezioni che la precedono. Il lettore troverà quì, ogni volta, utili tabelle, abachi, grafici ecc. nonchè un riepilogo dei simboli, dei termini e delle formule di cui si è discusso; troverà domande che gli consentiranno di provare se ha appreso e se ricorda quanto è stato esposto e potrà controllare, sul fascicolo successivo, l'esattezza delle risposte. Il lettore troverà infine — su ogni Numero — due pagine di vocabolario traducente, dall'inglese, termini inerenti l'elettronica. Queste pagine sono opportunamente collocate sì da consentirne l'eventuale distacco per una raccolta a se stante che può renderne più pratico l'uso: potrà essere formato in tal modo il più completo vocabolario inglese-italiano di termini elettronici che sia dato di reperire sul mercato librario italiano.

TABELLA 2 - CONVERSIONE della LUNGHEZZA d'ONDA
Metri in kHz e viceversa

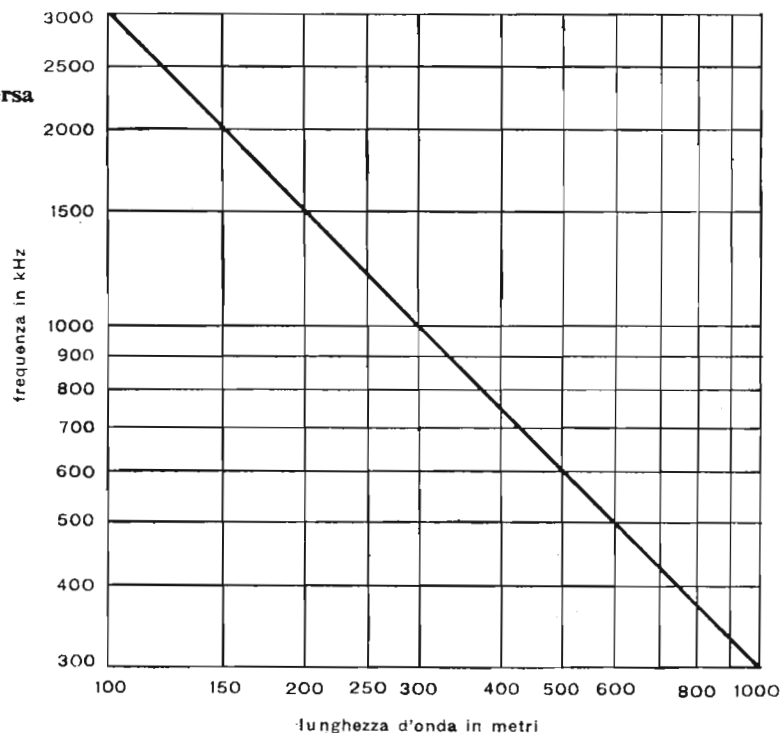
λ	f	λ	f	λ	f	λ	f	λ	f	λ	f	λ	f
10	29982	730	410,7	1450	206,8	2170	138,2	2890	103,7	4220	71,05	6650	45,09
20	14991	740	405,2	1460	205,4	2180	137,5	2900	103,4	4240	70,71	6700	44,75
30	9994	750	399,8	1470	204,0	2190	136,9	2910	103,0	4260	70,38	6750	44,42
40	7496	760	394,5	1480	202,6	2200	136,3	2920	102,7	4280	70,05	6800	44,09
50	5996	770	389,4	1490	201,2	2210	135,7	2930	102,3	4300	69,73	6850	43,77
60	4997	780	384,4	1500	199,9	2220	135,1	2940	102,0	4320	69,40	6900	43,45
70	4283	790	379,5	1510	198,6	2230	134,4	2950	10 16	4340	69,08	6950	43,14
80	3748	800	374,8	1520	197,3	2240	133,8	2960	101,3	4360	68,77	7000	42,83
90	3331	810	370,1	1530	196,0	2250	133,3	2970	100,9	4380	68,45	7050	42,53
100	2998	820	365,6	1540	194,7	2260	132,7	2980	100,6	4400	68,14	7100	42,23
110	2726	830	361,2	1550	193,4	2270	132,1	2990	100,3	4420	67,83	7150	41,93
120	2499	840	356,9	1560	192,2	2280	131,5	3000	99,94	4440	67,53	7200	41,64
130	2306	850	352,7	1570	191,0	2290	130,9	3020	99,28	4460	67,22	7250	41,35
140	2142	860	348,6	1580	189,8	2300	130,4	3040	98,62	4480	66,92	7300	41,07
150	1999	870	344,6	1590	188,6	2310	129,8	3060	97,98	4500	66,63	7350	40,79
160	1874	880	340,7	1600	187,4	2320	129,2	3080	97,34	4520	66,33	7400	40,52
170	1764	890	336,9	1610	186,2	2330	128,7	3100	96,72	4540	66,04	7450	40,24
180	1666	900	333,1	1620	185,1	2340	128,1	3120	96,10	4560	65,75	7500	39,98
190	1578	910	329,5	1630	183,9	2350	127,6	3140	95,48	4580	65,46	7550	39,71
200	1499	920	325,9	1640	182,8	2360	127,0	3160	94,88	4600	65,18	7600	39,45
210	1428	930	322,4	1650	181,7	2370	126,5	3180	94,28	4620	64,90	7650	39,19
220	1363	940	319,0	1660	180,6	2380	126,0	3200	93,69	4640	64,62	7700	38,94
230	1304	950	315,6	1670	179,5	2390	125,4	3220	93,11	4660	64,34	7750	38,69
240	1249	960	312,3	1680	178,5	2400	124,9	3240	92,54	4680	64,06	7800	38,44
250	1199	970	309,1	1690	177,4	2410	124,4	3260	91,97	4700	63,79	7850	38,19
260	1153	980	305,9	1700	176,4	2420	123,9	3280	91,41	4720	63,52	7900	37,95
270	1110	990	302,8	1710	175,3	2430	123,4	3300	90,85	4740	63,25	7950	37,71
280	1071	1000	299,8	1720	174,3	2440	122,9	3320	90,31	4760	62,99	8000	37,48
290	1034	1010	296,9	1730	173,3	2450	122,4	3340	89,77	4780	62,72	8050	37,24
300	999,4	1020	293,9	1740	172,3	2460	121,9	3360	89,23	4800	62,46	8100	37,01
310	967,2	1030	291,1	1750	171,3	2470	121,4	3380	88,70	4820	62,20	8150	37,79
320	936,9	1040	288,3	1760	170,4	2480	120,9	3400	88,18	4840	61,95	8200	36,56
330	908,5	1050	285,5	1770	169,4	2490	120,4	3420	87,67	4860	61,69	8250	36,34
340	881,8	1060	282,8	1780	168,4	2500	119,9	3440	87,16	4880	61,44	8300	36,12
350	856,6	1070	280,2	1790	167,5	2510	119,5	3460	86,65	4900	61,19	8350	35,91
360	832,8	1080	277,6	1800	166,6	2520	119,0	3480	86,16	4920	60,94	8400	35,69
370	810,3	1090	275,1	1810	165,6	2530	118,5	3500	85,66	4940	60,69	8450	35,48
380	789,0	1100	272,6	1820	167,4	2540	118,0	3520	85,18	4960	60,45	8500	35,27
390	768,8	1110	270,1	1930	163,8	2550	117,6	3540	84,69	4980	60,20	8550	35,07
400	749,6	1120	267,7	1840	162,9	2560	117,1	3560	84,22	5000	59,96	8600	34,86
410	731,3	1130	265,3	1850	162,1	2570	116,7	3580	83,75	5050	59,37	8650	34,66
420	713,9	1140	263,0	1860	161,2	2580	116,2	3600	83,28	5100	58,79	8700	34,46
430	697,3	1150	260,7	1870	160,3	2590	115,8	3620	82,82	5150	58,22	8750	34,27
440	681,4	1160	258,5	1880	159,5	2600	115,3	3640	82,37	5200	57,66	8800	34,07
450	666,3	1170	256,3	1890	158,6	2610	114,9	3660	81,92	5250	57,11	8850	33,88
460	651,8	1180	254,1	1900	157,8	2620	114,4	3680	81,47	5300	56,57	8900	33,69
470	637,9	1190	251,9	1910	157,0	2630	114,0	3700	81,03	5350	56,04	8950	33,50
480	624,6	1200	249,9	1920	156,2	2640	113,6	3720	80,60	5400	55,52	9000	33,31
490	611,9	1210	247,8	1930	155,3	2650	113,1	3740	80,17	5450	55,01	9050	33,13
500	599,6	1220	245,8	1940	154,5	2660	112,7	3760	79,74	5500	54,51	9100	32,95
510	587,9	1230	243,8	1950	153,8	2670	112,3	3780	79,32	5550	54,02	9150	32,77
520	576,6	1240	241,8	1960	153,0	2680	111,9	3800	78,90	5600	43,54	9200	32,59
530	565,7	1250	239,9	1970	152,2	2690	111,5	3820	78,49	5650	53,07	9250	32,41
540	555,2	1260	238,0	1980	151,4	2700	111,0	3840	78,08	5700	52,60	9300	32,24
550	545,1	1270	236,1	1990	150,7	2710	110,6	3860	77,67	5750	52,14	9350	32,07
560	535,4	1280	234,2	2000	149,9	2720	110,2	3880	77,27	5800	51,69	9400	31,90
570	526,0	1290	232,4	2010	149,2	2730	109,8	3900	76,88	5850	51.25	9450	31,73
580	516,9	1300	230,6	2020	148,4	2740	109,4	3920	76,48	5900	50,82	9500	31,56
590	508,2	1310	228,9	2030	147,7	2750	109,0	3940	76,10	5950	50,39	9550	31,39
600	499,7	1320	227,1	2040	147,0	2760	108,6	3960	75,71	6000	49,97	9600	31,23
610	491,5	1330	225,4	2050	146,3	2770	108,2	3980	75,33	6050	49,56	9650	31,07
620	483,6	1340	223,7	2060	145,5	2780	107,8	4000	74,96	6100	49,15	9700	30,91
630	475,9	1350	222,1	2070	144,8	2790	107,5	4020	74,58	6150	48,75	9750	30,75
640	468,5	1360	220,5	2080	144,1	2800	107,1	4040	74,21	6200	48,36	9800	30,59
650	461,3	1370	218,8	2090	143,5	2810	106,7	4060	73,85	6250	47,97	9850	30,44
660	454,3	1380	217,3	2100	142,8	2820	106,3	4080	73,49	6300	47,59	9900	30,28
670	447,5	1390	215,7	2110	142,1	2830	105,9	4100	73,13	6350	47,22	9950	30,13
680	440,9	1400	214,2	2120	141,4	2840	105,6	4120	72,77	6400	46,85	10000	29,98
690	434,5	1410	212,6	2130	140,8	2850	105,5	4140	72,42	6450	46,48		
700	428,3	1420	211,1	2140	140,1	2860	104,2	4160	72,07	6500	46,13		
710	422,3	1430	209,7	2150	139,5	2870	104,8	4180	71,73	6550	45,77		
720	416,4	1440	208,2	2160	138,8	2880	104,1	4200	71,39	6600	45,43		

La tabella di fronte consente anzitutto di trovare rapidamente la lunghezza d'onda corrispondente ad una determinata frequenza, e viceversa. In realtà il campo della frequenza è di molto più esteso, comunque al lettore risulterà facile calcolare i valori non contemplati in quanto, per conoscere le frequenze corrispondenti a lunghezze d'onda che non figurano nella tabella, oppure lunghezze d'onda corrispondenti a frequenze che a loro volta non figurano, basta moltiplicare la scala λ per 10 o per 100 o per 1.000 e contemporaneamente dividere per il medesimo numero (10 o 100 o 1.000) il valore in corrispondenza sulla scala *f*. Viceversa, è possibile dividere un numero della scala λ per 10, o per 100 o per 1.000, e contemporaneamente occorre moltiplicare per il medesimo numero il valore corrispondente sulla scala *f*.

TABELLA 3
GRAFICO per CONVERSIONE FREQUENZA - LUNGHEZZA d'ONDA e viceversa

Particolarità di impiego:

Premesso che i due assi orizzontale e verticale portano suddivisioni non lineari (l'andamento secondo il quale esse si presentano viene detto *logaritmico*, e la spiegazione di tale termine verrà data più avanti), nella valutazione di un valore non riportato occorre tener presente che il valore intermedio tra due numeri non corrisponde al centro del segmento da essi individuato. Ad esempio, il punto corrispondente alla lunghezza d'onda di 350 m non si trova esattamente al centro tra il 300 ed il 400, bensì un po' spostato verso il 400. La frequenza corrispondente, individuata nel modo sotto specificato, sarà pari a circa 850 kHz. Analogamente, a 350 kHz corrisponderà un punto dell'asse verticale più vicino al 400 che non al 300, e la lunghezza d'onda relativa sarà pari a 850 metri circa.

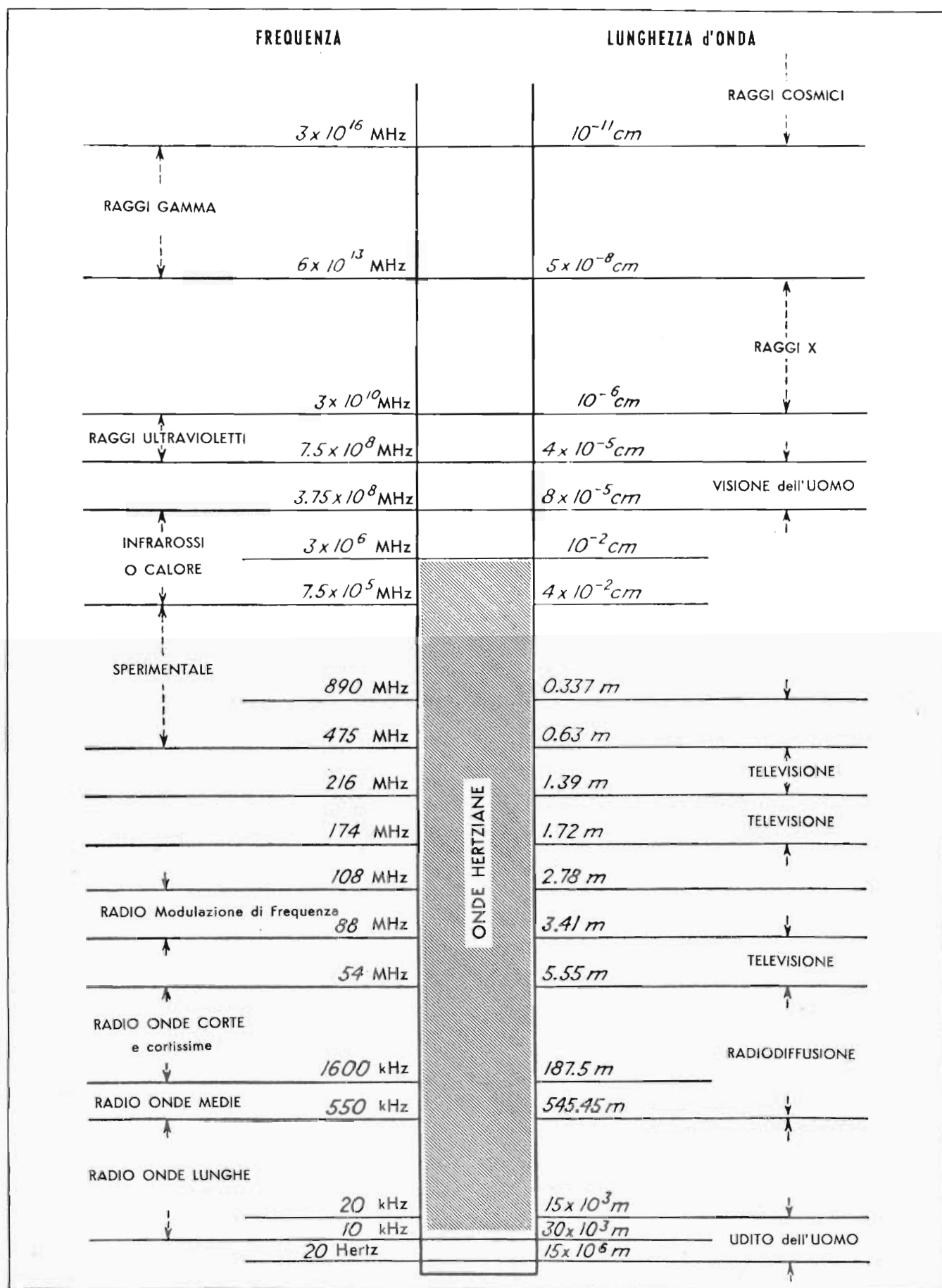
frequenza in kHz
3000
2500
2000
1500
1000
900
800
700
600
500
400
300
100 150 200 250 300 400 500 600 800 1000
lunghezza d'onda in metri

La tabella 3 ha il medesimo scopo della tabella 2, con la sola differenza che la consultazione è più rapida ma meno esatta. Conoscendo la lunghezza d'onda in metri, dopo aver individuato il punto corrispondente sull'asse orizzontale del grafico, si traccia una linea verticale immaginaria, o con l'aiuto di una riga, fino ad incontrare la diagonale. Dal punto di incontro con detta diagonale si traccia, col medesimo sistema, una seconda linea, orizzontale verso sinistra, fino ad incontrare l'asse verticale, sul quale sarà possibile leggere il valore della frequenza espressa in kHz. Conoscendo invece la frequenza, è possibile conoscere la lunghezza d'onda in metri che ad essa corrisponde procedendo a ritroso, iniziando cioè con una linea orizzontale che ha inizio in un punto dell'asse verticale corrispondente alla frequenza nota.

Naturalmente i valori ricavati sono esatti nei punti contrassegnati con i numeri, ed approssimati tra gli intervalli, comunque il grafico può egualmente dimostrarsi utile.

La tabella 4 espone in sintesi gli estremi delle gamme di frequenza e delle relative lunghezze d'onda nella loro classificazione generale, unitamente alle sigle adottate in America per distinguerle sommariamente, nonchè alle corrispondenti definizioni adottate in Italia.

TABELLA 4 - CLASSIFICAZIONE delle ONDE HERTZIANE

Definizione di gamma	Abbreviazione	Frequenza	Lunghezza d'onda	Definizione delle onde
molto bassa	V.L.F.	sotto i 30 kHz	oltre i 10.000 m	lunghissime
bassa	L. F.	da 30 a 300 kHz	da 1.000 a 10.000 m	lunghe
media	M.F.	da 300 a 3000 kHz	da 100 a 1.000 m	medie
alta	H.F.	da 3 a 30 MHz	da 10 a 100 m	medio-corte
molto alta	V.H.F.	da 30 a 300 MHz	da 1 a 10 m	corte
ultra alta	U.H.F.	da 300 a 3000 MHz	da 10 a 100 cm	cortissime
super alta	S.H.F.	da 3000 a 30000 MHz	da 1 a 10 cm	ultracorte
estremamente alta	E.H.F.	oltre i 300000 MHz	sotto ad 1 cm	micro

TABELLA 5 - SPETTRO delle FREQUENZE e delle LUNGHEZZE d'ONDA

La tabella 5 dà lo spettro delle frequenze e la loro classificazione a seconda della natura dei fenomeni da esse prodotti. Il grafico si estende dalla minima frequenza che può essere percepita dall'orecchio umano, alla massima della gamma dei raggi cosmici.

Poichè assai frequente è la consultazione di pub-

blicazioni in lingua inglese, nel novero delle numerose tabelle che pubblicheremo abbiamo comprese quelle di equivalenza tra termini di misure dei differenti sistemi: si tratta di tabelle o abachi che, in vero, non è difficile reperire altrove, ma si vuole qui supplire alla molteplicità delle fonti, alla diversità dei formati e ad altri inconvenienti che derivano dalla impossibilità di una raccolta organica e completa. Su questo fascicolo riportiamo tra le altre la tabella 6, che permette di trasformare rapidamente in millimetri le frazioni di 1 pollice, per cui essa sola, o con l'aiuto della tabella 7 riferita invece ai pollici interi, permetterà al lettore di trasformare in millimetri qualsiasi numero intero o frazionario espresso in pollici. Ad esempio, una misura pari a pollici 3 e 3/4 sarà pari a mm 76,19 + 19.05 = = 95,24.

TABELLA 6 - CONVERSIONE FRAZIONI di POLLICE in MILLIMETRI

frazioni di pollice		decimali di pollice	millimetri
	1/64	0.0156	0.397
1/32		.0313	0.794
	3/64	.0469	1.191
1/16		.0625	1.588
	5/64	.0781	1.984
3/32		,0938	2.381
	7/64	.1094	2.778
1/8		.1250	3.175
	9/64	.1406	3.572
5/32		.1563	3.969
	11/64	.1719	4.366
3/16		,1875	4.763
	13/64	,2031	5.159
7/32		,2188	5.556
	15/64	,2344	5.953
1/4		,2500	6.350
	17/64	,2656	6,747
9/32		.2813	7.144
	19/64	.2969	7.541
5/16		.3125	7.938
	21/64	,3281	8,334
11/32		.3438	8.731
	23/64	.3594	9.128
3/8		.3750	9.525
	25/64	.3906	9.922
13/32		.4063	10.319
	27/64	.4219	10.716
7/16		.4375	11.113
	29/64	.4531	11.509
15/32		.4688	11.906
	31/64	.4844	12.303
1/2		.5000	12,700
	33/64	.5156	13.097
17/32		.5313	13.494
	35/64	.5469	13,891
9/16		.5625	14,288
	37/64	,5781	14,684
19/32		.5938	15.081
	39/64	.6094	15.478
5/8		.6250	15.875
	41/64	.6406	16.272
21/32		.6563	16,669
	43/64	,6719	17.066
11/16		.6875	17.463
	45/64	.7031	17.859
23/32		.7188	18.256
	47/64	.7344	18.653
3/4		.7500	19.050
	49/64	.7656	19.447
25/32		.7813	19.844
	51/64	.7969	20.241
13/16		.8125	20.638
	53/64	.8281	21,034
27/32		.8438	21.431
	55/64	.8594	21.828
7/8		.8750	22.225
	57/64	.8906	22.622
29/32		.9063	23,019
	59/64	.9219	23,416
15/16		.9375	23.813
	61/64	.9531	24.209
31/32		.9688	24 606
	63/64	.9844	25.003
—		1.0000	25,400

TABELLA 7 - CONVERSIONE dei POLLICI in MILLIMETRI

Pollici	Millimetri	Pollici	Millimetri
1	25,39977	51	1.295,38835
2	50,79954	52	1.320,78812
3	76,19932	53	1.346,18789
4	101,59909	54	1.371,58766
5	126,99886	55	1.396,98743
6	152,39863	56	1.422,38720
7	177,79840	57	1.447,78697
8	203,19818	58	1.473,18674
9	228,59795	59	1.498,58651
10	253,99772	60	1.523,98628
11	279,39749	61	1.549,38605
12	304,79727	62	1.574,78582
13	330,19704	63	1.600,18559
14	355,59681	64	1.625,58536
15	380,99658	65	1.650,98513
16	406,39635	66	1.676,38990
17	431,79613	67	1.701,78467
18	457,19590	68	1.727,18444
19	482,59567	69	1.752,58421
20	507,99544	70	1.777,98398
21	533,39521	71	1.803,38375
22	558,79499	72	1.828,78352
23	584,19476	73	1.854,18329
24	609,59453	74	1.879,58306
25	634,99430	75	1.904,98283
26	660,39408	76	1.930,38260
27	685,78385	77	1.955,78237
28	711,19362	78	1.981,18214
29	736,59339	79	2.006,58191
30	761,99316	80	2.031,98168
31	787,39294	81	2.057,38145
32	812,79271	82	2.082,78122
33	838,19248	83	2.108,18099
34	863,59225	84	2.133,58076
35	888,99202	85	2.158,98053
36	914,39180	86	2.184,38030
37	939,79157	87	2.209,78007
38	965,19134	88	2.235,17984
39	990,59111	89	2.260,57961
40	1.015,99088	90	2.285,97938
41	1.041,39065	91	2.311,37915
42	1.066,79042	92	2.336,77892
43	1.092,19019	93	2.362,17869
44	1.117,58996	94	2.387,57846
45	1.142,98973	95	2.412,97823
46	1.168,38950	96	2.438,37800
47	1.193,78927	97	2.464,77777
48	1.219,18904	98	2.490,17754
49	1.244,58881	99	2.514,57731
50	1.269,98858	100	2.539,97708

TABELLA 8 - CONVERSIONE delle UNITA' di PESO

UNITA'		dram	oz	lb	lastra	tonnellata USA	tonnellata Ingl.	quintale (cwt) USA	quintale (cwt) Ingl.	g	kg	t
1 dracma	dram	1	0,0625	0,0039	—	—	—	—	—	1,772	—	—
1 oncia	oz	16	1	0,0625	0,0045	—	—	—	—	28,35	0,0284	—
1 libbra	lb	256	16	1	0,714	—	—	0.01	0,0089	453,6	0,4536	—
1 lastra	—	3.584	224	14	1	0,007	0,0063	0,14	0,125	6.350	6,35	—
1 quintale USA	cwt	—	1.600	100	7,14	0,05	0,045	1	0,893	—	45,36	0,0454
1 quintale Inglese	cwt	—	1.792	112	8	0,056	0,05	1,12	1	—	50,81	0,0508
1 tonnellata USA	ton	—	32.000	2.000	142,8	1	0,893	20	17,858	—	907,2	0,9072
1 tonnellata Inglese	ton	—	35.840	2.240	160	1,12	1	22,4	20	—	1.016	1,0161
1 grammo	g	0,5640	0,0353	0,0022	—	—	—	—	—	1	—	—
1 chilogrammo	kg	564	35.3	2,2046	0,1575	—	—	0,022	0,0197	1,000	1	—
1 tonnellata	t	—	—	2.204	157,5	1,102	0,9842	22,05	19,7	—	1.000	1

TABELLA 9 - COEFFICIENTI di MOLTIPLICAZIONE per la CONVERSIONE MISURE INGLESI in MISURE DECIMALI

Per trasformare	in	moltiplicare per
Pollice (*Inch*)	cm	2,54
Pollice² (*square Inch*)	cm²	6,45
1/1.000 di pollice (*Mils*)	mm	0,0254
Mils circolari (*Circular Mils*)	mm²	0,0005
Spire per pollice (*Turns per Inch*)	spire per cm	0,396
Spire per pollice² (*Turns per square Inch.*)	spire per cm²	0,155
Piede (12 pollici) (*Foot*)	cm	30,4
Piede² (*square Foot*)	cm²	929
Piedi per libbra (*Foot per Pound*)	metri per kg	0,671
Ohm per 1.000 piedi (*Ohm per 1.000 foot*)	ohm per km.	3,280
Iarda (*Yard*)	m	0,914
Iarda² (*square Yard*)	m²	0,836
Tesa (1/2 piede = 6 pollici) (*Fanthom*)	m	1,828
Pertica (16,5 piedi) (*Pole*)	m	5,029
Miglio legale (*Statute Mile*)	km	1,609
Nodo (*Nautical Mile*)	km	1,853
Miglio² (*square Mile*)	km²	2,590

La tabella 8 raggruppa le unità di peso inglesi e quelle adottate nel sistema decimale, e serve per convertire le une nelle altre o viceversa. Come si nota, la misura americana e quella inglese « quintale » e « tonnellata » differiscono, e per questo motivo sono citate entrambe. Nonostante la semplicità, riteniamo opportuno un esempio: per convertire un peso di 10 libbre in chilogrammi, si segue la linea orizzontale che inizia con l'unità « libbra »; si trova il valore 0,4536 nella colonna corrispondente ai « kg »: si moltiplica tale numero per 10 (numero delle libbre) e si ottiene l'equivalenza, nel nostro caso, di kg. 4,536. Per la conversione in « g » si considera il valore 453,6 della colonna « g ».

La tabella 9 qui a lato, dà i coefficienti per i quali è necessario moltiplicare una misura inglese, sia lineare che di superficie, per ottenere il valore corrispondente nel sistema metrico decimale.

La tabella 10 infine, qui sotto esposta, consente di conoscere il peso di 1 metro di lega di stagno preparato, nei vari diametri e nelle varie percentuali di lega che è possibile reperire in commercio.

TABELLA 10 - PESO dei FILI per SALDATURA

Diametro dei fili in mm	PESO APPROSSIMATIVO - in grammi - DI UN METRO DI FILO											
	Fili con anima in resina disossidante o liquido evapor.							Fili pieni (senz'anima)				
	Leghe Stagno - Piombo							Leghe Stagno - Piombo				
	20/80	30/70	33/67	40/60	50/50	60/40	70/30	20/80	30/70	33/67	40/60	50/50
3,00	63.00	60.60	60.00	58.40	55.80	53.80	51.50	74.60	71.70	70.72	69.00	66.20
2,50	43.70	42.20	41.60	40.50	38.80	37.30	35.80	51.80	49.80	49.22	47.90	46.00
2,00	28.00	26.90	26.65	25.95	24.80	23.90	22.90	33.20	31.90	31.44	30.60	29.40
1.75	21.43	20.62	20.43	19.90	18.35	18.35	17.60	25.40	24.40	24.08	23.40	22.50
1,50	15.73	15.15	15.00	14.60	13.90	13.42	12.88	18.65	17.90	17.70	17.25	16.55
1,25	10.92	10.52	10.40	10.12	9.70	9.33	8.95	12.92	12.45	12.30	11.98	11.45
1,00	7.00	6.72	6.66	6.48	6.20	5.97	5.72	8,28	7.95	7.87	7.65	7.35
0,75	3.92	3.78	3.74	3.64	3.49	3.35	3.22	4.75	4.46	4.43	4.30	4.13

Saranno argomento di questo Corso, tra l'altro: **i transistori** questi nuovi, rivoluzionari organi delle più recenti realizzazioni dell'elettronica. L'impiego dei transistori si estende rapidamente: sono già numerosi i ricevitori e gli amplificatori in commercio che ne sono dotati e il loro numero è indubbiamente destinato ad accrescersi perchè i transistori sostituiranno con ampia percentuale, le valvole termoioniche. E' perciò necessario che il radiotecnico li conosca, sappia applicarli, si renda conto di quanto e di come differiscano dalle valvole, sia aggiornato nei tipi e nelle caratteristiche. Saranno descritti numerosi montaggi di ricevitori, trasmettitori e dispositivi elettronici da realizzare con l'impiego di transistori.

La modulazione di frequenza o F.M., come viene correntemente definita, è il sistema di trasmissione radiofonica che in questi ultimi anni è venuto ad affiancarsi a quello classico della modulazione di ampiezza. Che cosa sia la F.M., quali caratteristiche presenti, come funzionino e si realizzino i ricevitori per F.M. sarà ampiamente detto durante lo svolgimento del Corso. Oramai anche i ricevitori più economici sono caratterizzati dalla possibilità di ricezione della modulazione di frequenza: il radioamatore, e più ancora il radioriparatore, devono perciò rendersi pienamente consci della tecnica relativa, degli schemi, e dei particolari circuiti.

Un'altra tecnica in piena evoluzione è quella dell'**Alta Fedeltà**. Le esigenze per ciò che riguarda la fedeltà di riproduzione sonora sono notevolmente aumentate. Il materiale relativo alla sezione di Bassa Frequenza di molti ricevitori nonchè quello di appositi amplificatori, rivelatori e riproduttori si è andato e si va vieppiù affinando e perfezionando; ne risultano nuove tecniche, nuove disposizioni circuitali, nuovi accorgimenti che è duopo conoscere. Citiamo in proposito **la registrazione magnetica** che ha visto un rapido espandersi dei magnetofoni, cui fa riscontro, nella battaglia tra il nastro e il disco, il microsolco. Ora, entrambi hanno affinata la loro tecnica con la **riproduzione stereofonica**.

In questi ultimi tempi hanno fatto la loro comparsa ricevitori e amplificatori montati secondo il sistema dei **circuiti stampati**. Si tratta di pannelli caratterizzati dal fatto che i collegamenti necessari all'unione dei vari componenti sono già esistenti sul pannello stesso, sotto forma di un conduttore che viene ricavato seguendo alcune fasi della tecnica di stampa. E' evidente che un tale sistema — adottato anche parzialmente, e cioè in sole sezioni di un complesso — reca riduzioni di costo notevoli se l'apparecchio viene prodotto in grande serie. E' intuitivo anche che il tecnico debba d'ora in poi sapere quali sono i punti delicati e come ci si debba comportare nei confronti di questo nuovo metodo realizzativo. Il nostro Corso, al momento opportuno, affronta l'argomento e lo illustra nei suoi più minuti dettagli.

Una tra le più allettanti attività in campo radio è quella della **trasmissione dilettantistica**. Chiunque può ottenere la licenza di trasmissione previo un facile esame su argomenti e materia che il nostro Corso ampiamente espone ma esso, in proposito, non si limita alla preparazione per il superamento dell'esame: riporta descrizioni di trasmettitori e ricevitori appositi da realizzarsi, riporta le norme che regolano l'attività, le caratteristiche dei materiali idonei, indirizzi, prefissi, abbreviazioni, ecc. Va ricordato che questa della trasmissione, cioè delle comunicazioni a distanza tra amatori di tutto il mondo, è la forma più suggestiva e appassionante di attività radiotecnica; è proprio tale attività che assai spesso porta alla formazione dei più abili tecnici, come ampiamente l'esperienza dimostra. E' pertanto un passatempo del più alto valore istruttivo che molto spesso contribuisce anche al nascere di amicizie e relazioni con radioamatori di tutti i continenti.

Una forma particolare di detta attività può considerarsi poi il **radiocomando**. Anche in questa branchia sono numerosi gli appassionati. L'argomento non sarà quindi dimenticato nè per chi ha pratica di questa tecnica ne per chi ad essa vuole dedicarsi.

Ovviamente, un'importanza notevole riveste il settore degli strumenti e delle **apparecchiature di misura**. Senza di esse ogni attività e ogni nozione si può dire risulti vana e monca, nel nostro campo: il progettista quanto l'amatore, il riparatore quanto l'installatore e lo stesso commerciante evoluto, hanno necessità di eseguire controlli di efficienza, misure di rendimento, accertamenti, rilievo e ricerca di guasti, tarature, messe a punto ecc. e tutto, è noto, si svolge con l'ausilio degli apparecchi di misura. Naturalmente, per ogni categoria vi sono gli strumenti più indicati e noi di essi forniremo i dati costruttivi, la tecnica di impiego nonchè le norme d'uso sia per i singoli tipi, sia per i diversi impieghi. Tratteremo così della **taratura** e della **ricerca dei guasti**.

E' noto che i laboratori di ricerca applicata più progrediti e più famosi nel mondo sono quelli delle grandiose industrie statunitensi. Dall'U.S.A. ci provengono le notizie delle scoperte più sensazionali in campo radio e tutti quei nuovi dati, quelle norme e quegli schemi che alla scoperta fanno seguito allorchè questa passa alla fase di pratica attuazione e sfruttamento. Orbene, mentre può essere della più grande utilità per un tecnico conoscere la lingua inglese e seguire direttamente sulle riviste americane il progresso, non è detto che chi tale lingua non conosce, non possa sufficientemente interpretare schemi e brevi norme, solo che abbia la possibilità di ricorrere ad un **vocabolario tecnico dall'inglese all'italiano**. Pubblicheremo perciò, su ogni fascicolo, due pagine di vocaboli e termini tecnici con la relativa traduzione e siamo certi che ciò potrà più di una volta tornare utile anche a chi già conosce la lingua inglese.

E veniamo, in ultimo, ad un argomento che certamente il lettore si sarà meravigliato di non aver visto accennato prima: **la televisione**. A questo proposito il nostro programma è quanto mai impegnativo: esso è tale che non ci è consentita per il momento alcuna indiscrezione, soprattutto perchè sulla televisione serbiamo al lettore che ci vorrà seguire per qualche mese una importante e, siamo certi, graditissima sorpresa.

IMPORTANTE! : se vi interessano i prossimi fascicoli datene subito avviso al vostro giornalaio!

**Per un anno,
a domicilio,
un completo Corso
che vi costa
un decimo
di tutti gli altri Corsi**

**Vi formerete
un volume
di ben 1248 pagine:
un prezioso
manuale-enciclopedia
di elettronica**

GELOSO

SOCIETA' PER AZIONI «GELOSO» PER LA COSTRUZIONE DI
MATERIALE ED APPARECCHI ELETTRONICI

CONDENSATORI VARIABILI

Perfetta esecuzione, caratterizzata da elevata precisione di taratura, ottima stabilità meccanica-elettrica, minime perdite ed effetto microfonico trascurabile. Vasta scelta tra diversi tipi, singoli, doppi, tripli, a sezioni speciali.

CONDENSATORI ELETTROLITICI

Quest'organo è soggetto a forti sollecitazioni di natura elettrochimica; è perciò necessario che presenti anzitutto una elevata stabilità chimica che può essergli conferita solamente con speciali procedimenti costruttivi, frutto di lunga esperienza. La GELOSO costruisce tali condensatori da trent'anni. I tipi fabbricati sono 55, rispondenti, nelle dimensioni e nei valori, alle più diverse esigenze della tecnica.

GRUPPI ALTA FREQUENZA

Consentono la più alta efficienza ed offrono sicurezza e stabilità massime di funzionamento. Nei numerosi modelli prodotti si hanno Gruppi e sintonizzatori a più gamme, per M.d.F., M.d.A., OC, con convertitrice, con preamplificazione, ecc.

TRASFORMATORI D'ALIMENTAZIONE

Uno studio accurato del circuito magnetico e del rapporto tra ferro e rame, metodi moderni di lavorazione, rigorosi e molteplici collaudi assicurano al prodotto esattezza e costanza delle tensioni, isolamento perfetto, minimo flusso disperso, basso riscaldamento e capacità di tolleranza al sovraccarico. Comodi e razionali nell'impiego e nel fissaggio: standardizzati in 6 serie per i più vari impieghi.

TRASFORMATORI MEDIA F.

Caratterizzati da elevata costanza di taratura e rendimento assicurano l'eliminazione di una delle principali cause d'instabilità dei radioricevitori. Valori di 467 kHz, 10,7 MHz, 5,5 MHz per FI « intercarrier » e 4,6 MHz per doppio cambiamento di frequenza.

ALTOPARLANTI

È superfluo mettere in evidenza l'importanza dell'altoparlante nella catena di parti di un complesso elettroacustico; esso condiziona la qualità dell'apparecchio al quale è collegato. Gli altoparlanti GELOSO, costruiti in molti tipi, dal più piccolo per apparecchi a transistori, ai modelli maggiori per alta fedeltà, soddisfano le più disparate necessità. Essi sono la risultante di una trentennale esperienza.

Direzione Centrale
V.le Brenta, 29 - MILANO

La Società per Azioni Geloso, costituisce il più grande complesso industriale italiano esclusivamente destinato alla produzione delle apparecchiature e dei materiali radioelettrici. Fondata nel 1931, fino dai primi anni di attività ebbe a godere della fiducia e del consenso di una clientela sempre più vasta, cosicchè il suo sviluppo, basato su sani criteri organizzativi, è stato sempre crescente.

Il complesso industriale Geloso consta di una sede Centrale in Milano (Via Brenta, 29) e di altri stabilimenti in Milano stessa ed in altre località. La produzione viene realizzata secondo i metodi più moderni e razionali, con perfetta coordinazione tra le varie fasi produttive sì da immettere sul mercato prodotti di alta qualità a basso prezzo.

In ognuno dei diversi stabilimenti si attuano lavorazioni di particolare carattere così che le maestranze risultano altamente specializzate nel loro specifico compito.

Il successo ottenuto sui più difficili mercati del mondo è la palese conferma della bontà degli indirizzi tuttora seguiti dalla Società, come agli inizi: produzione di qualità superiore, basso costo, continua ricerca di laboratorio, estesa e pronta organizzazione commerciale e completa documentazione a corredo del prodotto.

corso di RADIOTECNICA

pubblicazione settimanale - 8-15 ottobre 1960 - un fascicolo lire 150 **2°** numero

corso di
RADIOTECNICA

settimanale a carattere culturale

Direzione, Amministrazione, Pubblicità:
Via dei Pellegrini 8/4 - Telef. 593.478

MILANO

Ogni fascicolo — contenente 3 lezioni — costa lire 150, acquistato alle edicole.

Se l'edicola risulta sprovvista, o si teme di rimanere privi di qualche numero, si chieda invio settimanale direttamente al proprio domicilio a mezzo abbonamento.

Il versamento per ricevere i 52 fascicoli costituenti l'intero Corso è di lire 6500 + I.G.E. = lire 6630. A mezzo vaglia postale, assegno bancario, o versamento sul conto corr. postale 3/41.203 del « Corso di RADIOTECNICA » - Via dei Pellegrini 8-4 - Milano.

In ogni caso, scrivere in modo molto chiaro e completo il proprio indirizzo.

L'abbonamento può essere effettuato in qualsiasi momento; si intende comprensivo delle lezioni pubblicate e dà diritto a ricevere tali lezioni, che saranno inviate con unica spedizione.

Estero: abbonamento al Corso, Lit. 8.500. ($ 15). Numeri singoli Lit. 300 ($ 0,50).

Per i cambi di indirizzo durante lo svolgimento del Corso, unire lire 100, citando sempre il vecchio indirizzo.

Fascicoli singoli arretrati — se disponibili — possono essere ordinati a lire 300 cadauno.

Non si spedisce contrassegno.

Distribuzione alle edicole di tutta Italia: Diffus. Milanese . Via Soperga, 57 - Milano.

Direttore responsabile: Giulio Borgogno.

Autorizzaz. N. 5357 - Tribunale di Milano.

Stampa: Intergrafica S.r.l. - Cologno Monzese.

La Direzione non rivende materiale radio; essa può comunicare, se richiesta, indirizzi di Fabbricanti, Importatori, Grossisti ecc. in grado di fornire il necessario ed ai quali il lettore può rivolgersi direttamente.

Alla corrispondenza con richiesta di informazioni ecc. si prega allegare sempre il **francobollo per la risposta.**

Parte del testo e delle illustrazioni è dovuta alla collaborazione del Bureau of Naval Personnel, nonchè al Dept. of the Army and the Air Force - U.S.A.

A chi può essere utile questo Corso? Anzitutto — stante la sua impostazione — il Corso, basato sull'esposizione in forma a tutti accessibile, della radiotecnica, dai suoi elementi basilari alla evoluzione più recente, rappresenta la forma ideale per tutti coloro che intendono dedicarsi all'elettronica, sia come forma ricreativa sia — soprattutto — per l'acquisizione di una professione specializzata che possa procurare loro una posizione di privilegio in seno alla società odierna.

Anno per anno, la nostra civiltà si indirizza sempre più verso questa meravigliosa, si potrebbe dire fascinosa, elettronica, che nel modo più evidente consente sviluppi impensati, progressi grandiosi e una rapida evoluzione di tutti gli altri rami dello scibile che essa tocca e influenza.

L'industria, tutta l'industria, nel senso più ampio, da quella elettrotecnica a quella meccanica, alla metallurgica, alla chimica ecc., con i suoi laboratori di ricerca e le sue fabbriche richiede, e richiederà sempre più, con un ritmo rapidamente crescente, tecnici specializzati con conoscenza dell'elettronica, tecnici specificatamente elettronici e persino operai e impiegati di ogni ordine e categoria con cognizioni di elettronica.

Si può dire che anche le branche commerciali, quelle dei trasporti e persino quelle amministrative con le recenti introduzioni delle calcolatrici, abbisognano di personale che conosca i principi dell'elettronica, le macchine relative, il loro pieno sfruttamento, la eventuale riparazione ecc. e, quanto più in modo completo, quanto meglio.

Nasce, da una tale situazione, una logica conseguenza: per la scelta di una professione o di un mestiere, per un miglioramento della propria posizione sociale, per l'intrapresa di una libera attività o anche per la sola acquisizione di cognizioni che indubbiamente verranno oltremodo utili, è quanto mai opportuno riflettere se non sia conveniente dedicare un po' di tempo allo studio di questa scienza che ha tra l'altro il pregio di rendersi immediatamente attraente, concreta, accessibile e foriera di moltissime soddisfazioni.

A questo scopo appunto, e con questi intenti, è stato redatto questo Corso.

Non mancano invero altri corsi (specie per corrispondenza) o scuole di radiotecnica, nè mancano (sebbene siano in numero del tutto inadeguato) scuole statali o pareggiate ma la struttura e l'impostazione che caratterizzano queste 156 lezioni sono alquanto particolari, presentando non pochi vantaggi sulle diverse altre forme di cui si è detto.

Anzitutto vogliamo porre in evidenza **il fattore economico.**

Frequentare regolarmente, durante tutto l'anno, una scuola è certo il modo più logico — anche se non il più rapido — per apprendere ma, tralasciando il fatto che rarissimi sono gli Istituti di radiotecnica, è a tutti possibile dedicarsi esclusivamente, e per l'intero anno, allo studio? Noi riteniamo che chi può farlo costituisca oggi assai più l'eccezione che la regola. Ciò significa infatti poter disporre liberamente del proprio tempo senza avere la necessità di un contemporaneo guadagno: il nostro Corso permette a chiunque di studiare a casa propria, nelle ore libere dal lavoro, senza abbandonare o trascurare quest'ultimo. Ciò caratterizza invero anche altri corsi, ma il vantaggio economico diviene notevole ed evidentissimo se si considera che di fronte all'esborso, anche se rateale, di quasi 80.000 lire che i corsi per corrispondenza richiedono, seguendo il nostro Corso la spesa in un anno risulta di poco più di 7500 lire (150 lire alla settimana presso un'edicola) o di 6630 lire totali, con recapito postale, settimanale, delle lezioni a domicilio.

E' superfluo dire che la Modulazione di Frequenza, i transistori, i circuiti stampati, la trasmissione, il telecomando ecc. sono argomenti integrali del Corso e non costituiscono motivo di corsi speciali, aggiunti o particolari.

Le lezioni di questo Corso — a differenza di molte altre — non sono stampate con sistemi di dispensa, a ciclostile, o con sistemi più o meno analoghi, derivanti cioè da un originale battuto a macchina da scrivere; esse sono stampate in uno stabilimento grafico, con chiari caratteri tipografici da cui deriva una assai più agevole lettura e — fattore certamente di non secondaria importanza — un contenuto molto più ampio, corrispondendo una pagina a stampa a tre o quattro pagine di quelle citate. Il lettore avrà, alla fine del Corso, un volume di ben 1248 pagine di grande formato!

Chiunque, indipendentemente dall'età, dalla professione e dalle scuole compiute **può seguire il Corso.** Alle esposizioni teoriche si abbinano numerose, attraenti, istruttive ed utili descrizioni che consentono la realizzazione di ricevitori, amplificatori, strumenti vari e persino di trasmittenti su onde corte.

A questo proposito è sintomatico il fatto che la Direzione non vuole assolutamente assumere la fisionomia di un fornitore o commerciante di materiale radio, rivendendo agli allievi le parti necessarie. Il materiale occorrente l'interessato può acquistarlo dove e come meglio crede e, assai spesso anzi, già ne dispone. Viene così evitato l'acquisto forzoso, caratteristico più o meno di tutti gli altri corsi.

Anche chi è già radiotecnico, anche chi ha seguito o segue altri corsi troverà il massimo tornaconto in questo completo ed aggiornato lavoro. Molte nozioni, è logico, saranno note, altre un po' meno e sarà utile rinfrescarle, e il tutto infine costituirà un manuale di consultazione, prezioso tanto per la teoria esposta quanto per i numerosi schemi, per le tabelle, per i grafici, gli elenchi, i dati, il vocabolario dei termini ecc.

Concludendo, si può affermare che questo **Corso di Radiotecnica** oltre che come insegnamento graduale si presenta come **enciclopedia e rivista assieme** ciò che permette di formare — con modestissima spesa — **il più completo, ricco, utile e pratico volume di radiotecnica di cui sia dato oggigiorno disporre.**

NOZIONI FONDAMENTALI di ELETTRICITA'

Abbiamo sin qui esaminato, nella nostra parte teorica — se pur nelle linee generali, tuttavia in modo sufficiente per quanto era l'intento delle nostre premesse — il fenomeno delle oscillazioni sonore ed elettromagnetiche, nonchè l'applicazione pratica di queste ultime. E' noto che fu appunto tale applicazione o sfruttamento, a rendere possibili le telecomunicazioni, e cioè quelle comunicazioni a distanza che costituiscono lo scopo primo ed essenziale della radiotecnica.

Noto il fenomeno delle oscillazioni, è necessario volgersi ora all'altro elemento che sta alla base di tutta la materia che verremo studiando: **l'elettricità.**

E' invero assai difficile incontrare oggi qualcuno che non faccia uso dell'elettricità o non conosca apparecchi elettrici e apparecchiature elettroniche; molti di quegli apparecchi elettrici che solo pochi anni or sono erano ritenuti oggetti di lusso, sono ormai considerati indispensabili alla vita normale.

La luce elettrica, il telefono, la radio, la televisione, il frigorifero, la stufa elettrica e l'automobile sono cose oggi universalmente accettate come logiche e naturali, e tutti noi usiamo un interruttore della luce senza considerare minimamente la complessa e vastissima rete elettrica della quale esso fa parte, o ciò che succede quando — per un nostro così semplice intervento — si produce la luce stessa.

Analogamente, quando si accende un apparecchio radio, un televisore o altro, finchè l'apparecchio funziona correttamente, il risultato viene considerato cosa naturale, senza la minima preoccupazione nei confronti dei fenomeni complessi che si verificano.

Antecedentemente alla prima guerra mondiale, l'elettricità era ancora, si può dire, nella sua infanzia. In seguito, particolarmente per ciò che concerne il ramo che a noi più interessa — l'elettronica — si ebbe, in coincidenza della seconda guerra mondiale, uno sviluppo rapidissimo, evidente conseguenza delle esigenze belliche; tale sviluppo prosegue con immutato ritmo e oggi, con risultati sorprendenti, l'elettricità governa i missili e i satelliti, pilota le navi, controlla impianti industriali, esegue incredibili calcoli e penetra sempre più in tutte le manifestazioni della vita quotidiana.

Con così numerose innovazioni si è resa per tutti necessaria, oltre che una revisione delle nozioni tecniche e delle norme costruttive di più vecchia data, una divulgazione ed un aumento delle cognizioni utili per il mantenimento, il funzionamento e la riparazione degli apparecchi elettrici, nozioni che, ripetiamo, sono fondamentali per lo studio susseguente e completo della radiotecnica.

Lo scopo di questa lezione è pertanto quello di esporre una base aggiornata dei principi fondamentali relativi all'elettricità; consentire al lettore ancora privo di tali cognizioni, di acquisirle per comprendere poi i concetti basilari di funzionamento della radio e rendersi conto di ciò che accade nei circuiti elettrici che incontrerà nella pratica.

Indipendentemente dal fatto che il suo lavoro si debba poi svolgere nel campo della riparazione, in quello di progetto o in quello del controllo, il tecnico deve avere, è intuitivo, la massima familiarità con la teoria che sta all'origine di tutto il funzionamento.

ELETTRICITA'

La parola « elettricità » deriva dalla parola greca « ambra », e gli antichi Greci la usarono per indicare le strane forze di attrazione e di repulsione che si verificano attorno ad un pezzo di ambra che sia stato precedentemente strofinato con un panno. Essi ignoravano la causa di tali forze.

Nel 1733 il francese Du Fay osservò che, se un pezzo di vetro viene strofinato con una pelliccia di gatto, entrambi questi oggetti si « elettrizzano », ma che il vetro attrae, in tale stato, oggetti che invece sono repulsi dalla pelliccia di gatto e viceversa. Da tale osservazione Du Fay concluse giustamente che *vi sono due generi di elettricità esattamente opposti tra loro.*

Successivamente B. Franklin introdusse i termini **positivo** (+) e **negativo** (—) per distinguere i due differenti generi di elettricità. Egli definì elettrizzato *positivamente* un corpo che presenta lo stesso tipo di carica che possiede un pezzo di vetro dopo che è stato strofinato con un panno di seta, e *negativamente* quello che presenta lo stesso tipo di carica di una bacchetta di gomma dopo essere stata strofinata con una pelliccia di gatto. Franklin definì inoltre elettricamente *neutri* tutti i corpi che non presentano alcuna carica.

Ulteriori studi nel campo della materia portarono poi a definizioni di maggiore rigore scientifico che vedremo nel corso di questa lezione stessa.

La domanda « cos'è elettricità? » ha preoccupato per molti anni i più grandi scienziati del mondo e sebbene ancora oggi non sia stato possibile trovare una risposta del tutto esauriente, attraverso lo studio di ciò che essa provoca è stato però possibile evolvere teorie che si sono dimostrate logiche ed efficaci; oltre a ciò,

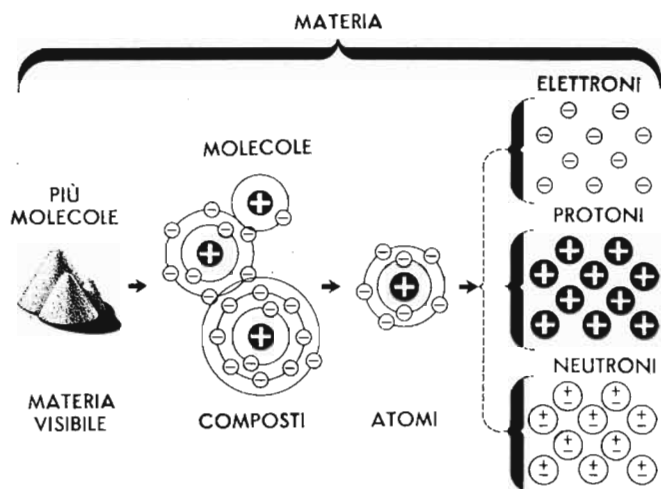



Fig. 1 - La « **materia** » che ci circonda è costituita da « molecole »; queste — a loro volta — possono essere scisse in « elementi » puri, formati da « atomi ». Nell'atomo vi è il « nucleo » che ha « protoni » e « neutroni » nonchè « elettroni »: questi ultimi ruotano attorno ad esso.

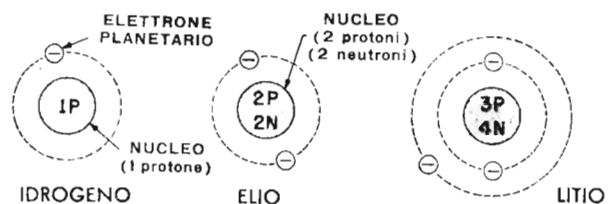



Fig. 2 — Il numero di protoni determina l'elemento. Struttura atomica degli elementi: idrogeno, elio, litio che hanno rispettivamente 1 protone, 2 protoni e 2 neutroni, 3 protoni e 4 neutroni.

le leggi secondo le quali essa agisce sono sviluppate, divulgate e comprese sempre più universalmente, tanto che al giorno d'oggi qualsiasi cosa può essere considerata e spiegata come prodotto diretto o indiretto di fenomeni elettrici.

LA MOLECOLA

Gli oggetti che formano il mondo che ci circonda sono costituiti dalla cosidetta **materia,** (vedi **figura 1**), la quale fisicamente è la comune sostanza di generale e quotidiana esperienza, ed il cui concetto può essere sintetizzato nel modo che ora esporremo.

La materia, nelle sue manifestazioni comuni, è formata in ultima analisi da *particelle.* Consideriamo, ad esempio, un cristallo del comune sale da tavola; se esso venisse diviso in parti molto piccole diverse volte, si otterrebbero in ultimo delle particelle talmente piccole che non potrebbero essere divise ulteriormente, pur rimanendo particelle di sale: tali unità prendono il nome di **molecole.**

Oggi si sa che il sale è composto di due tipi di materia e precisamente: cloro e sodio; la molecola del sale è quindi la quantità più piccola, in forma fisica, di un tale assieme (o combinazione chimica) formato dai due citati elementi costituenti. *La molecola è la particella che viene considerata alla base della maggior parte delle reazioni chimiche.*

La cottura del pane, l'esplosione della dinamite, le variazioni che costituiscono la conversione del cibo in un componente del sangue, non sono che alcuni dei fenomeni mediante i quali le molecole vengono create e distrutte.

L'ATOMO

Dallo studio della chimica appare evidente però che la molecola che ora abbiamo vista è ben lungi dall'essere l'ultima parte in cui la materia può essere scomposta. La molecola di sale citata, ad esempio, può essere scomposta nei due elementi radicalmente differenti già detti; il sodio ed il cloro; tali particelle che costituiscono le molecole possono essere isolate e studiate separatamente. Esse sono dette **atomi.**

L'atomo è la particella più piccola costituente quel tipo di materiale che vien detto **elemento.** Nel caso citato gli elementi sono appunto il sodio ed il cloro.

L'elemento mantiene le sue caratteristiche anche se diviso in atomi.

Fino ad oggi sono stati individuati più di cento elementi, i quali possono essere elencati in una tabella in ordine progressivo di peso, e raggruppati in famiglie aventi proprietà similari. Detta tabella viene chiamata « tavola periodica degli elementi ».

L'idea che tutta la materia sia composta di atomi risale ai Greci — oltre 2.000 anni fa — e molti secoli passarono prima che lo studio della materia provasse che l'idea basilare della struttura atomica era esatta.

I fisici esplorarono infine anche la costituzione dell'atomo e scoprirono diverse ulteriori suddivisioni dello stesso.

L'anima dell'atomo si chiama **nucleo,** nel quale è concentrata la maggior parte della massa dell'atomo stesso (massa atomica); il nucleo può essere paragonato al sole del sistema planetario, intorno al quale ruotano i pianeti.

Esso contiene **protoni** (particelle con cariche elettriche positive), e **neutroni**, elettricamente neutri.

La maggior parte del peso di un atomo è nei protoni e nei neutroni che costituiscono il nucleo; intorno ad esso ruotano una o più particelle più piccole, con cariche elettriche negative dette **elettroni.**

Normalmente, in ogni atomo vi è un protone per ogni elettrone, di modo che la carica positiva totale del nucleo è bilanciata, ossia neutralizzata, dalla carica totale negativa degli elettroni che lo circondano, per cui **l'atomo è elettricamente neutro.**

Gli elettroni non cadono e non penetrano nel nucleo sebbene ne siano fortemente attratti. Il loro stesso movimento rotatorio evita la caduta — a causa della loro forza centrifuga — così come accade per i pianeti nei confronti del sole.

Il numero di protoni, che generalmente corrisponde al numero degli elettroni, determina il genere dell'elemento, come si vede dalla **figura 2** che mostra, in un semplice disegno, diversi atomi di elementi diversi, basandosi sul fatto che gli elettroni descrivono delle orbite intorno al nucleo, come i pianeti.

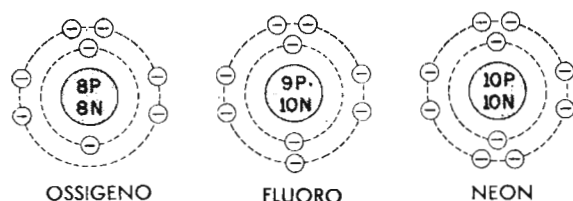
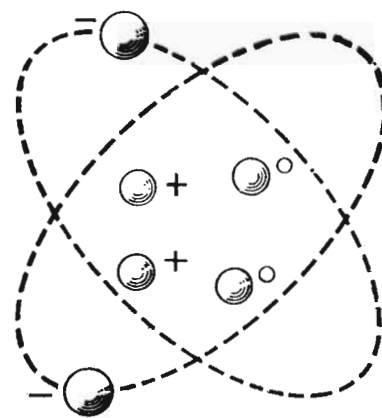
Ad esempio, l'Idrogeno ha un nucleo consistente in un protone, intorno al quale ruota un solo elettrone; l'atomo di Elio ha un nucleo contenente due protoni e due neutroni, e due elettroni che ruotano intorno al nucleo. (**figura 3**).

L'atomo degli elementi ossigeno, fluoro e neon presenta rispettivamente 8 protoni ed 8 neutroni, 9 protoni e 10 neutroni, 10 protoni e 10 neutroni. Attorno ruotano 8, 9 e 10 elettroni.

Fig. 3 - Per una più esatta idea della struttura atomica è raffigurato l'atomo dell'elio, col nucleo contenente 2 protoni (+) e 2 neutroni (O) attorno ai quali ruotano 2 elettroni (—).

Alla fine dell'elenco degli elementi, considerati in ordine di peso atomico, troviamo il Mendelevio (non indicato nella figura), elemento scoperto recentemente, il cui atomo è costituito da 101 protoni e 101 elettroni.

La tavola periodica degli elementi di cui si è detto è un elenco ordinato degli elementi stessi in *numero atomico* progressivo (in ordine *quantitativo di elettroni* ruotanti intorno al nucleo), ed anche in ordine di *peso atomico* (corrispondente al *numero di protoni e di neutroni* del nucleo).

I vari elementi ed i rispettivi atomi hanno differenti pesi l'uno rispetto all'altro, e quello che maggiormente si avvicina all'unità è l'Idrogeno, il cui peso atomico è pari a 1,008 rispetto a quello dell'Ossigeno che è 16 (8 + 8). L'Elio ha un peso atomico approssimativo di 4 (2+2), il Litio di 7 (3+4), il Fluoro di 19 (9+10), ed il Neon di 20 (10+10), come si vede nella già citata figura 2.

Gli elettroni delle orbite esterne di alcuni elementi possono essere facilmente separati dai nuclei positivi dei rispettivi atomi, e possono essere costretti a muoversi nei metalli, nel vuoto, o in tubi contenenti dei gas, ed in genere tali elettroni hanno caratteristiche molto importanti.

Il peso di un elettrone è molto piccolo in confronto a quello di un protone o di un neutrone, (circa 1:1845 del peso del protone dell'atomo più leggero, ossia di Idrogeno). Il peso di un elettrone ammonta a 9×10^{-28} grammi, e la carica elettrica negativa a $1{,}6 \times 10^{-19}$ *coulomb*. (Vedremo tra breve il significato di questa unità di misura della carica elettrica). Per questa sua combinazione l'elettrone è una particella particolarmente attiva, con diverse possibilità di pratica utilizzazione.

Ionizzazione.

Per principio, un atomo tende a rimanere nel suo stato normale, nello stato cioè in cui l'energia interna è minima; se questa però supera lo stato normale, l'atomo diventa **eccitato.** L'eccitazione può essere prodotta in diversi modi, come ad esempio, in seguito all'urto dell'atomo con particelle positive o negative che si spostano ad alta velocità, le quali possono cedere tutta o parte della loro energia all'atomo durante la collisione. L'eccesso di energia assorbito dall'atomo stesso può essere sufficiente allora a far sì che gli elettroni delle orbite esterne, scarsamente attratti dal nucleo, abbandonino il loro posto nonostante la forza che tende a trattenerli nella loro posizione.

Un atomo che ha perso o guadagnato uno o più elettroni, viene detto **ionizzato**, ossia, se perde elettroni si carica positivamente e diviene un **ione positivo**, mentre viceversa, se ne acquista, si carica negativamente e diviene un **ione negativo**, per cui per **ione** si intende una particella di materia avente una carica positiva o negativa ben determinata.

Elettroni liberi.

Quando un elettrone esterno viene allontanato da un atomo, diventa un **elettrone libero**, ed alcuni elettroni di certi atomi metallici sono uniti così leggermente ai nuclei che sono pressochè liberi di spostarsi di atomo in atomo; la minima forza, o il minimo ammontare di energia ne determina lo spostamento e li tramuta in elettroni liberi.

Tale movimento di elettroni liberi costituisce il passaggio della corrente elettrica in un conduttore.

CONDUTTORI e ISOLANTI

Da un punto di vista generale tutti i materiali possono essere divisi in due grandi categorie: conduttori e isolanti. Tale suddivisione si basa sulla loro maggiore o minore possibilità di permettere un passaggio di corrente (movimento di elettroni), e tale possibilità è a sua volta in stretta relazione con la struttura atomica.

Conduttori.

Un buon conduttore è un materiale che ha un gran numero di elettroni liberi, e, in un certo senso, tutti i metalli sono conduttori di elettricità, pur considerando che alcuni di essi lo sono più di altri. Tra tali conduttori sono l'argento, il rame, l'alluminio, ecc., ma occorre considerare che se l'argento è, ad esempio, migliore conduttore del rame, il secondo viene usato più diffusamente in quanto è più economico; l'alluminio viene usato come conduttore nei casi in cui risulta di grande importanza il fattore peso.

La tendenza da parte del materiale a condurre l'elettricità dipende anche dalle sue dimensioni: i conduttori infatti si presentano sotto forma di barre, tubi o fogli, ma i più comuni vengono usati sotto forma di filo.

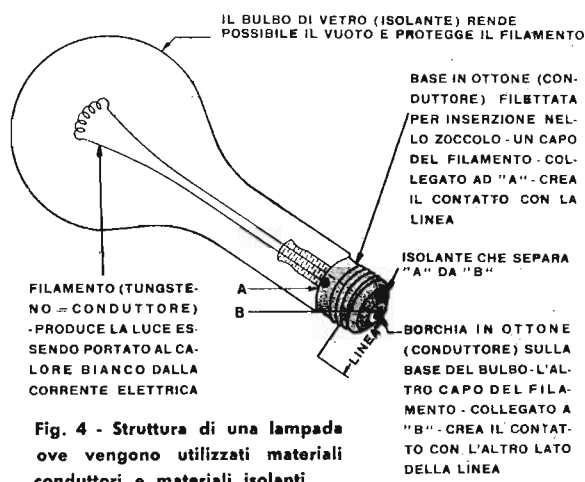



Fig. 4 - Struttura di una lampada ove vengono utilizzati materiali conduttori e materiali isolanti.

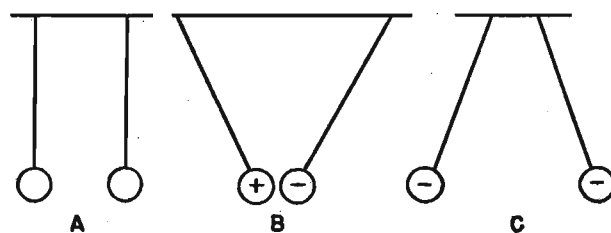



Fig. 5 - Se due corpi elettricamente neutri sono posti a lato (A) non si manifesta alcuna forza di attrazione tra loro; se gli stessi corpi posseggono cariche di polarità opposta (B) essi si attraggono; e se le polarità sono tra loro eguali (C) si respingono.

Tutti conosciamo i cavi telefonici e le linee di distribuzione dell'energia elettrica: queste ultime sono realizzate con conduttori a filo e trasportano l'elettricità da un punto all'altro portandola nelle nostre case per accendere le lampadine e per azionare tutti i dispositivi elettrici di uso domestico.

Nelle varie applicazioni i conduttori a filo vengono usati in diverse misure, da quella capillare impiegata per la realizzazione delle bobine mobili dei delicati strumenti di misura, a quella di notevoli dimensioni usata per l'alimentazione delle linee tranviarie o ferroviarie. Generalmente, la proprietà di condurre l'elettricità varia direttamente col variare della superficie della sezione del conduttore, e ciò è dovuto al fatto che maggiore è la sezione, maggiore è il numero degli atomi presenti e quindi maggiore il numero degli elettroni liberi

I cavi multipli vengono usati quando è necessario una certa flessibilità, come ad esempio per le lampadine portatili, ferri da stiro, tostapane, ecc.; inoltre, allo scopo di renderli più maneggevoli e meno soggetti alle variazioni di temperatura e delle condizioni esterne, tali conduttori sono spesso ricoperti con altri materiali come gomma, cotone, plastica o smalto. Tali rivestiture evitano anche i cosiddetti *cortocircuiti* (contatti indesiderati tra il filo e oggetti estranei oppure tra fili diversi) e le dispersioni di corrente, e sono costituiti da materiali detti *isolanti.*

Isolanti e dielettrici.

Poichè i corpi isolanti sono elementi — o combinazioni di elementi — la cui struttura atomica è tale da evitare praticamente ogni movimento di elettroni, di atomo in atomo, si dice che *un corpo isolante ha pochi elettroni liberi.*

Non esiste un materiale conosciuto come perfetto isolante, attraverso il quale non è possibile cioè ottenere alcun passaggio di corrente, ma in compenso ve ne sono di tali le cui caratteristiche li rendono così poco conduttori, che per gli scopi normali vengono considerati praticamente isolanti pressochè perfetti.

La porcellana, il vetro, l'aria, il legno asciutto, la gomma e l'olio sono considerati materiali isolanti, e qui di seguito riportiamo un brevissimo elenco riassuntivo dei migliori conduttori e dei migliori isolanti, in ordine progressivo, a seconda delle loro qualità conduttive o isolanti.

Conduttori	Isolanti
Argento	Aria secca
Rame	Vetro
Alluminio	Mica
Ottone	Gomma
Zinco	Amianto
Ferro	Bachelite

Una delle cose principali che apprendiamo in fatto di elettricità è che, se non usiamo la massima prudenza nel maneggiare dispositivi che la utilizzano per il loro funzionamento, possiamo a volte avere la spiacevole e pericolosa sorpresa di prendere la così detta « scossa », ed i materiali isolanti vengono usati anche per evitare tale inconveniente. Come abbiamo già detto, gli isolanti vengono usati per evitare perdite di corrente: il lettore conosce certamente la struttura di una comune lampada elettrica, e sa perfettamente che nella sua realizzazione sono impiegati materiali sia isolanti che conduttori. La corrente elettrica che riscalda il sottile filamento (**figura 4**) giunge ad esso dopo aver percorso una serie di conduttori collegati al generatore di corrente, e se noi toccassimo detto filamento mentre è in funzione, riceveremmo una « scossa » e una bruciatura. Tuttavia, sappiamo che possiamo inserire o togliere una lampadina dal suo portalampada senza alcun pericolo, toccando soltanto il vetro. Ciò rende evidente che nel vetro non vi è passaggio di corrente elettrica sebbene esso sia in diretto contatto con le parti metalliche connesse al filamento: quindi, è un corpo isolante.

ELETTRICITA' STATICA

Una delle leggi fondamentali dell'elettricità afferma che **le cariche analoghe si respingono, mentre le cariche opposte si attraggono,** (vedi **figura 5**) per cui nell'atomo esiste una forza di attrazione tra il nucleo positivo e gli elettroni negativi, che ruotano in orbita intorno ad esso.

La parola statico deriva da stasi, e significa « assenza di movimento », ossia riposo, ed in origine l'elettricità statica fu considerata come ferma in quanto i fisici di tanti anni fa pensavano che l'energia elettrica prodotta dall'attrito fosse ferma. E' possibile effettuare un semplice esperimento per produrre delle scariche statiche: se si fa passare un pettine asciutto varie volte tra i capelli, con una certa energia, si ode uno scricchiolio e uno scoppiettio: ciò significa che si producono, in un primo tempo, delle cariche statiche tra i capelli ed il pettine

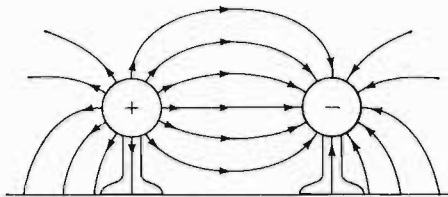



Fig. 7 - Sempre con linee si può illustrare il campo elettrico circostante a cariche analoghe e far notare che in tal caso le linee di forza si respingono e che non sono parallele ma si piegano all'infuori partendo dal centro.

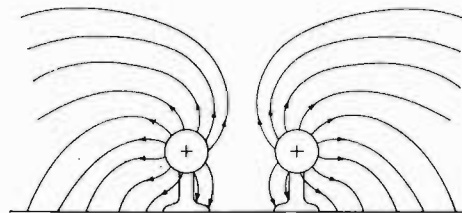



Fig. 6 - Per rappresentare graficamente direzione o intensità dei campi elettrici si usano delle linee. Esse, ad es. in questo caso, indicano che la direzione del campo tra cariche contrarie va dal positivo al negativo.

a causa del trasferimento di elettroni dagli uni all'altro, trasferimento dovuto all'attrito; le scariche che seguono sono il rapido movimento degli elettroni stessi in direzione opposta, poichè le cariche di cui si è detto si neutralizzano a vicenda.

Se l'azione viene compiuta al buio, è possibile notare la presenza delle scariche grazie all'apparire di piccole scintille.

CARICHE ELETTRICHE nei CORPI.

Nell'esperimento descritto può accadere che delle ciocche di capelli si dispongano ad angolo retto in quanto la perdita di elettroni ha caricati i capelli positivamente, e come si è detto, le cariche analoghe si respingono: d'altro canto il pettine, avendo acquistato degli elettroni in più, si carica di elettricità negativa.

Se il pettine viene posto allora in prossimità di un piccolo pezzo di carta, questo verrà attratto e rimarrà attaccato al pettine per un certo tempo; la carica negativa del pettine respingerà gli elettroni liberi della carta verso il lato più lontano dal pettine stesso, caricando invece positivamente il lato a contatto. Le cariche opposte produrranno la forza di attrazione che determina il contatto; durante quest'ultimo però, alcuni degli elettroni in eccesso si sposteranno dal pettine alla carta caricandola di elettricità negativa e in seguito — poichè le cariche analoghe si respingono — il pezzetto di carta si separerà dal pettine.

Ricapitolando, un corpo si dice **carico** *se contiene un numero di elettroni superiore o inferiore al normale*, e può essere rispettivamente negativo o positivo, a seconda se gli elettroni sono in eccesso o in difetto rispetto ai protoni, mentre *se ogni atomo ha un egual numero di elettroni e di protoni*, il corpo è **scarico.**

La rimozione di elettroni da un corpo implica il suo contatto con un altro e poscia il suo allontanamento da quest'ultimo. Il secondo avrà un eccesso di elettroni, e quindi sarà caricato negativamente, mentre il primo avrà una deficienza di elettroni, per cui sarà positivo. Tale principio potrà essere verificato strofinando il vetro con la seta (come già si è accennato a proposito delle definizioni della diversa elettricità dovute a B. Franklin). Alcuni elettroni saranno tolti dal vetro e si uniranno alla seta in modo che il primo (con meno elettroni), sarà positivo, e la seconda (con abbondanza di elettroni), sarà negativa, e, per tutto il tempo in cui essi non verranno a contatto, manterranno le loro cariche. Tuttavia, non appena avranno la possibilità di toccarsi, l'eccedenza di elettroni della seta si trasferirà sul vetro neutralizzando la carica dei due corpi.

LA LEGGE di COULOMB sulle CARICHE

Abbiamo verificato sperimentalmente che i corpi caricati elettricamente si attraggono a vicenda quando le loro cariche sono opposte, e si respingono quando le loro cariche sono analoghe, per cui elettroni e protoni si attraggono a vicenda, mentre gli elettroni si respingono tra di loro, come pure i protoni stessi.

Le forze di attrazione o di repulsione variano col variare dell'intensità delle cariche e col variare delle distanze, e tale relazione viene considerata nella legge sulle forze scoperta da uno scienziato francese di nome Charles A. Coulomb. Tale legge afferma che **i corpi caricati elettricamente si attraggono o si respingono reciprocamente con una forza direttamente proporzionale al prodotto delle rispettive cariche, ed inversamente proporzionale al quadrato della distanza tra i corpi.** (*).

(*) *Troveremo spesso le espressioni* direttamente proporzionale *ed* inversamente proporzionale: *accenniamo brevemente al loro significato, citando anche qualche esempio dimostrativo della legge di Coulomb.*

La proporzione è una relazione che sussiste tra due grandezze o quantità, ed è diretta *allorchè l'aumento o la diminuzione di una di tali grandezze determina l'aumento o la diminuzione, in proporzione, dell'altra; è* inversa, *invece, se l'aumento di una grandezza determina una diminuzione, sempre in proporzione, dell'altra, o viceversa.*

Ci riferiamo ora alla legge di Coulomb relativa alla forza che agisce su due corpi caricati elettricamente. Supponiamo che due corpi, A e B, abbiano rispettivamente delle cariche elettriche corrispondenti numericamente a 5 e 6. Il prodotto dei loro valori — ossia la forza con la quale i due corpi si attraggono (o si respingono, e ciò in relazione alla loro reciproca polarità) — è perciò 30. Se le citate cariche, ad esempio, raddoppiano e raggiungono cioè i rispettivi valori di 10 e 12, il prodotto è 120: come si vede, assai più del doppio del precedente prodotto che era 30. Analogamente, se dette cariche vengono diminuite (supponiamo ridotte a metà del loro valore) avremo rispettivamente valori di 2,5 e 3, il cui prodotto è 7,5: alla metà delle cariche corrisponde non la metà di 30, ma la quarta parte. Nell'uno e nell'altro caso l'azione è però sempre direttamente proporzionale.

Nella legge di Coulomb è preso in esame anche un altro fattore: la distanza tra i due corpi. Supponiamo che una forza F sussista tra i due già citati corpi carichi rispettivamente 5 e 6 allorchè essi si trovano distanziati di 5 cm. La legge cita in proposito il quadrato della distanza (abbiamo già spiegato che il quadrato di un numero equivale al nu-

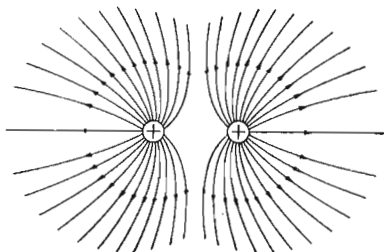



Fig. 7 bis - Lo stesso fenomeno tra due corpi a carica di eguale segno, illustrato alla figura precedente, può essere raffigurato anche secondo il disegno qui riprodotto.

Fig. 8 - Unendo i due poli di un generatore di corrente (Fonte) ad un « carico », si attua un « circuito elettrico ». In esso gli elettroni liberi cominciano istantaneamente a muoversi lungo i conduttori dando luogo alla « corrente elettrica ». Il senso del movimento degli elettroni è quello dal polo negativo al polo positivo, con passaggio attraverso il carico.

La carica di un elettrone o di un protone potrebbe essere usata come unità di carica elettrica, ma non sarebbe pratico trattandosi di una quantità infinitesimale; come unità di carica elettrica si è invece adottato il **coulomb**, che equivale alla carica di 6.280.000.000.000.000.000 elettroni; come si è detto nella nota di pagina 7, un modo più comodo di esprimere tale unità è $6{,}28 \times 10^{18}$ elettroni.

Il simbolo che rappresenta il coulomb è *Q*.

CAMPI ELETTRICI e LINEE di FORZA

Campo elettrico.

Lo spazio che circonda i corpi caricati elettricamente o che è interposto tra di essi, e nel quale si avverte la loro influenza, si chiama **campo elettrico di forza;** esso non richiede un mezzo di collegamento nè fisico nè meccanico e può esistere in qualunque ambiente, sia esso aria, vetro, carta, ecc. o vuoto. **Campi elettrostatici** e **campi dielettrici** sono altre espressioni di uso comune che intendono la medesima cosa, cioè questa regione di forze.

I campi di forza si estendono nello spazio che circonda il loro punto di origine, e, generalmente, **diminuiscono proporzionalmene al quadrato della distanza della sorgente.**

Esempio di un campo di forza è quello della forza di gravità, che compenetra lo spazio circostante la terra e agisce attraverso il medesimo in modo da causare la caduta verso la terra stessa di tutti gli oggetti sospesi.

Newton scoprì la legge della gravitazione, la quale stabilisce che **ogni oggetto esercita una forza di attrazione su di un qualsiasi oggetto, in modo direttamente proporzionale al prodotto delle masse, ed inversamente proporzionale al quadrato della distanza tra gli oggetti stessi.**

E' possibile, da quanto sopra, notare l'analogia tra la legge di gravità e la legge di attrazione dei corpi caricati elettricamente; il campo gravitazionale tiene unito l'intero universo, poichè se detto campo non esistesse, i pianeti, compresa la terra, si sposterebbero senza meta nello spazio invece che girare intorno al sole, e la luna cesserebbe di ruotare intorno alla terra. Inoltre, a causa della rotazione della terra intorno al proprio asse, tutti gli oggetti ed i corpi che si trovano sulla sua superficie si allontanerebbero nello spazio. Analogamente, gli elettroni che ruotano ad alta velocità intorno al nucleo positivo dell'atomo, vengono mantenuti nelle loro orbite grazie alla forza di attrazione esercitata dal nucleo, per cui deduciamo che tra gli elettroni e detto nucleo deve necessariamente esistere un campo di forza.

Considerando le relative dimensioni, vi sono degli spazi enormi tra gli elettroni ed il nucleo, perfino negli atomi più densi; ad esempio, se una moneta di rame fosse portata alle dimensioni dell'orbita terrestre intorno al sole, (un diametro di circa 250.000.000 km) gli elettroni della moneta acquisterebbero in proporzione le dimensioni di un pallone da « foot-ball », e la distanza media tra loro sarebbe di circa 5 km.

Linee di forza.

Per la rappresentazione grafica si usano delle linee per raffigurare la direzione e l'intensità dei campi elettrici di forza, e, mentre l'intensità del campo è indicata dalla densità (numero di linee nell'unità di superficie), la direzione è indicata da frecce le cui punte sono rivolte nel senso in cui una piccola carica di prova si muoverebbe o tenderebbe a muoversi qualora fosse eccitata da un campo di forza.

Per trovare la direzione nella quale una forza agisce, si può usare una piccola carica di prova, positiva o negativa, in quanto la forza del campo dielettrico agisce su entrambe. Tuttavia, arbitrariamente, si è convenuto di usare una piccola carica *« positiva »* per determinare la direzione del campo.

L'esperimento dimostra che la direzione del campo circostante una carica **positiva,** si allontana dalla carica stessa, poichè la carica positiva di prova viene **respinta,** e che la direzione del campo circostante una carica **negativa,** è rivolta verso la carica stessa in quanto la carica positiva di prova viene **attratta.**

In **figura 6** si nota che la direzione del campo tra cariche contrarie va dal positivo al negativo. La **figura 7** mostra invece il campo elettrico circostante

mero moltiplicato per se stesso); nel nostro caso, essendo la distanza 5 cm, si ha 25 come suo quadrato. Il prodotto delle due cariche è, come si è detto, 5 × 6 = 30. Dividendo tale prodotto (30) per il quadrato della distanza (25) otterremo 1,2 come valore della forza F. Vediamo ora quale valore assume la forza se raddoppiamo la distanza (10 cm). Avremo, il già noto prodotto, 30, diviso il quadrato di 10 (10 × 10) che è 100, ossia avremo 0,3. La distanza è semplicemente raddoppiata ma la forza F è diminuita in relazione al quadrato della distanza. L'azione è pur sempre proporzionale, ma inversamente.

Fig. 9 - Il movimento di 6.280.000.000.000.000.000 elettroni nella sezione di un conduttore, in un secondo, equivale all'unità di misura della corrente ossia ad 1 « ampère ». Gli elettroni, sebbene ne siano rappresentati solo alcuni, si intendono distribuiti lungo tutto il conduttore.

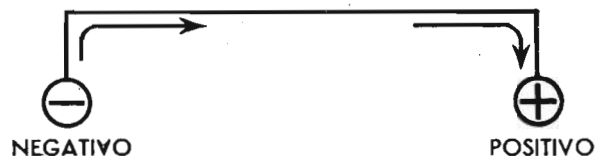



Fig. 10 - Il movimento di elettroni di cui si è detto (corrente) tra due corpi caricati elettricamente e collegati mediante un conduttore ha luogo finchè si verifica la forza che lo determina, ossia la « forza elettromotrice » o « tensione »; cessa quando le due cariche risultano bilanciate.

cariche analoghe, e si può notare che le linee di forza si respingono a vicenda; inoltre nella figura 7, le linee di forza fra i due corpi caricati elettricamente non sono parallele, bensì si piegano all'infuori partendo dal centro, come se si respingessero, appunto, reciprocamente. In entrambe le figure le linee terminano sugli oggetti materiali e di estendono sempre, come si è detto, dalla carica positiva alla carica negativa. Esse sono considerate linee immaginarie nello spazio lungo le quali agisce una forza reale, ed in entrambi gli esempi, la direzione nella quale la forza agisce è, ripetiamo, la medesima nella quale una piccola carica positiva di prova si muoverebbe qualora fosse introdotta nel campo, ossia **dalla carica positiva verso la carica negativa.**

CORRENTE

Fino a questo punto ci siamo riferiti esclusivamente all'*elettricità statica,* ossia all'*elettricità immobile.* Gli elettroni liberi presenti in un conduttore si muovono però, costantemente, e mutano la loro posizione secondo un sistema « vibrante ».

Se una sorgente di energia (come ad esempio una pila o un generatore a corrente continua) viene collegata ai due terminali di un **circuito elettrico,** (così si chiama il percorso predisposto per il passaggio della corrente) come è mostrato in **figura 8,** gli elettroni liberi cominciano quasi istantaneamente a muoversi lungo i conduttori, ossia lungo i loro assi, in un'unica direzione nel circuito stesso, e si considera che la *direzione* del movimento sia dal *terminale « negativo » della sorgente verso il terminale « positivo »,* attraverso il carico. Tale direzione è opposta a quella precedentemente stabilita per convenzione, secondo la quale la corrente scorre dal polo positivo a quello negativo. In effetti, nell'esposizione di questo nostro Corso, viene scelta come base sulla quale si stabiliscono le regole che governano l'analisi dei circuiti, la *direzione del movimento elettronico* in quanto essa è l'esatta direzione del movimento degli elettroni nei conduttori e, come vedremo, anche nel vuoto e nei gas, ed è inerente al senso effettivo della corrente (o movimento di elettroni liberi); ad essa perciò dovrà riferirsi il tecnico.

Sebbene il movimento antiorario degli elettroni liberi in un circuito sia relativamente lento, la velocità di responso è molto elevata, per cui, non appena la sorgente di energia viene collegata al circuito, gli elettroni iniziano quasi immediatamente il loro movimento verso il « carico », il quale non è altro che il circuito stesso che costituisce il percorso degli elettroni messi in movimento dalla sorgente di energia. L'intervallo di tempo che intercorre tra l'istante in cui il circuito viene collegato alla sorgente e l'istante in cui inizia il passaggio di corrente nel carico può essere determinato dividendo la distanza tra la sorgente ed il carico per una costante corrispondente all'incirca alla velocità della luce, per cui se il carico si trova a 0,3 km dalla sorgente, l'intervallo di tempo equivale a 0,3: 300.000 km al secondo, ossia 0.000001 secondi, e tale intervallo viene definito per maggiore comodità 1 *micron secondo.*

Quindi, l'inizio del passaggio di corrente è quasi istantaneo e si verifica contemporaneamente in tutti i punti del circuito al quale la sorgente è collegata; **tale movimento costituisce la corrente elettrica** propriamente detta.

Per determinare *l'ammontare* della corrente è necessario adottare un'unità di misura con la quale si possa lavorare; il termine che definisce l'unità di corrente (vedi **figura 9**) viene chiamato **ampère** e prende il nome dal filosofo Andrea M. Ampère il quale scoprì, nel 1823, le relazioni che sussistono tra il senso della corrente in un conduttore e la direzione del campo magnetico che lo circonda. La lettera *I* viene usata come simbolo per indicare la **corrente** elettrica.

Il passaggio di 1 ampère equivale al movimento di $6{,}28 \times 10^{18}$ elettroni (abbiamo visto che questa è la carica corrispondente ad 1 coulomb) al secondo, attraverso un determinato punto del circuito, e può essere paragonato alla portata d'acqua di un tubo conduttore espressa in litri al secondo.

La portata di corrente in ampère, e la quantità di elettricità che percorre un circuito, sono in relazione in quanto hanno come fattore comune il *tempo.* Per questo motivo la quantità di carica elettrica in coulomb mossa attraverso un circuito, equivale al prodotto tra la corrente in ampère *I*, e la durata del passaggio di corrente in secondi, rappresentata nella seguente equazione della **lettera *t*.**

$$Q = It.$$

Ad esempio, se una corrente di 2 ampère scorre in un circuito per la durata di 10 secondi, la quantità

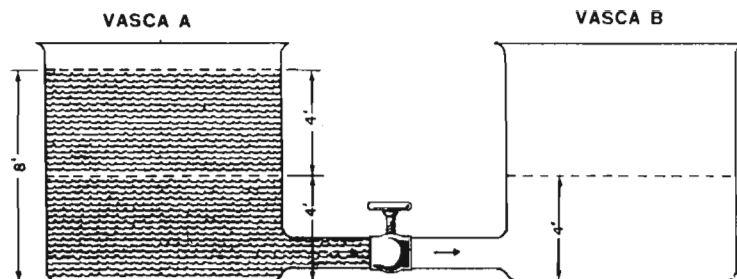



Fig. 11 - Analogia del fenomeno della differenza di potenziale. Tra la vasca A e la vasca B (tra un polo e l'altro) esiste — quando la valvola è chiusa — (conduttore mancante o interrotto) la massima pressione (tensione). Aprendo la valvola (chiusura del circuito) ha inizio il passaggio verso B (corrente) sino al raggiungimento di un pari livello: il flusso cessa (non vi è più differenza di potenziale).

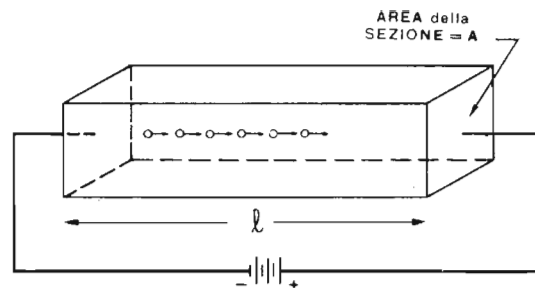



Fig. 12 - Un conduttore elettrico oppone una certa « resistenza » al libero passaggio della corrente: tale resistenza dipende dalla natura del materiale di cui il conduttore è formato, dalla sua lunghezza « l » e dall'area della sua sezione, A.

di elettricità che è mossa nel circuito stesso equivale a 2×10 ossia 20 coulomb. Analogamente, se si fanno passare 20 coulomb attraverso un circuito in un tempo pari a 10 secondi, la corrente media sarà 20:10 ossia 2 ampère. E' opportuno notare che il passaggio di corrente in ampère implica la quantità di coulomb al secondo senza indicare nè i coulomb stessi, nè i secondi, per cui il passaggio di una corrente di 2 ampère equivale, e resta sott'inteso, ad una portata di 2 coulomb al secondo.

TENSIONE

La forza che determina lo spostamento di elettroni liberi in un conduttore sotto forma di corrente elettrica si chiama **forza elettromotrice** (*f.e.m.*), o **tensione,** o **differenza di potenziale,** e quando essa esiste tra due corpi caricati elettricamente e collegati mediante un conduttore, gli elettroni scorrono attraverso questo ultimo dal corpo negativo verso quello positivo, come si è già detto, finchè le due cariche sono bilanciate, ossia finchè la differenza di potenziale viene neutralizzata (**figura 10**).

Una analogia di questi fenomeni è illustrata nella **figura 11** che rappresenta due recipienti d'acqua collegati attraverso un tubo, ed una valvola; in un primo tempo quest'ultima è chiusa e l'acqua si trova nel recipiente « A », per cui la pressione sulla valvola è al suo massimo valore. Quando essa viene aperta, il liquido scorre attraverso il tubo dal recipiente « A » al recipiente « B » finchè raggiunge il medesimo livello in entrambi, ed a questo punto esso cessa di spostarsi in quanto tra i due recipienti non esiste più alcuna differenza di pressione.

Vi sono diversi metodi per generare una tensione elettrica, i più comuni sono le batterie o pile ed i generatori rotanti. Lo scienziato italiano A. Volta (1745-1827) inventò la prima pila elettrica, e l'unità di misura di tensione, il **volt,** venne così chiamata in suo onore.

L'intensità della corrente che scorre in un circuito elettrico è direttamente proporzionale alla differenza di potenziale presente ai capi del circuito stesso, esattamente come il passaggio di acqua attraverso il tubo della figura 11 è direttamente proporzionale alla differenza tra le altezze dei livelli nei due recipienti.

Una legge fondamentale dell'elettricità è pertanto che **la corrente è direttamente proporzionale alla tensione applicata.**

RESISTENZA

La resistenza elettrica è quella caratteristica di un circuito elettrico che *si oppone* al passaggio della corrente che lo percorre. Il semplice circuito della figura 8 ha una resistenza di valore diverso nelle diverse parti che lo compongono, ossia nella sorgente, nel carico, e nei conduttori di collegamento.

Le dimensioni ed il materiale dei conduttori devono essere tali da mantenere la resistenza al valore più basso, in modo che la corrente possa scorrere altrettanto facilmente in essi, come l'acqua scorre attraverso il tubo che collega i due recipienti della figura 11 non appena il rubinetto viene aperto. Se la pressione dell'acqua rimane costante, il passaggio varia col variare dell'apertura del rubinetto stesso, in quanto minore è detta apertura, maggiore è l'opposizione al movimento del liquido, e minore è quindi la portata.

In un circuito elettrico, maggiore è il diametro dei conduttori, minore è la resistenza elettrica che essi oppongono al passaggio della corrente che li percorre. Nell'esempio analogo dell'acqua, l'attrito con le pareti interne del tubo si oppone al trasferimento del liquido da un recipiente all'altro; tale attrito è analogo alla resistenza elettrica.

La resistenza che il tubo oppone al passaggio dell'acqua dipende (1) dalla lunghezza del tubo stesso, (2) dal diametro, e (3) dalla natura della superficie interna (liscia o ruvida).

Analogamente, la resistenza opposta dai conduttori elettrici dipende (1) dalla lunghezza dei conduttori, (2) dalla loro sezione, e (3) dalla natura del materiale impiegato (rame, alluminio ecc.). (**figura 12**)

L'unità di misura della resistenza è **l'ohm.** Essa è strettamente connessa, e deriva — come vedremo in seguito — dai valori delle altre entità elettriche presenti nel circuito e cioè: tensione (volt), e corrente (ampère). Ci sia sufficiente, per il momento, dire che un conduttore (o circuito) **ha la resistenza di un ohm quando una differenza di potenziale di un volt applicata ai suoi capi da luogo allo scorrimento di una corrente di un ampère.**

MATERIALE di MONTAGGIO

PREFISSI

In ogni sistema di misura, non basta disporre di una sola unità per esprimere qualsiasi ammontare: ad esempio, mentre si usa il centimetro per piccole lunghezze, si usa anche il millimetro per lunghezze inferiori, o addirittura il chilometro per lunghezze molto maggiori. Analogamente, nel caso delle misure elettriche, sono state stabilite delle unità che sono sottomultipli o multipli della unità base. Tali unità supplementari sono elencate qui sotto, riferite — a titolo di esempio — all'unità di misura della resistenza e sono, in questo caso, costituite dalla parola Ohm con l'aggiunta di un prefisso che ne determina il fattore o il rapporto:

Mega-ohm	= 1.000.000 di ohm
Chilo-ohm	= 1.000 ohm
Centi-ohm	= 1/100 di ohm (poco usato)
Milli-ohm	= 1/1.000 di ohm (poco usato)
Micro-ohm	= 1/1.000.000 di ohm
Micro-micro-ohm	= 1/1.000.000 di microohm.

Ad esempio, poichè la parola « chilo » significa 1.000, 1 chilovolt (kV) significa 1.000 volt, per cui un volt equivale ad un millesimo di kV, e tali prefissi, che abbiamo già visti impiegati anche nella misura delle frequenze, come si è detto, possono essere usati con tutte le unità elettriche; essi costituiscono un mezzo pratico per esprimere valori molto grandi o molto piccoli.

Dal momento però che in alcune formule si usano le unità basilari, è indispensabile tener conto sempre, dei fattori di moltiplicazione o di rapporto espressi, al fine di calcolare con esattezza i valori effettivi.

RESISTENZE FISSE e VARIABILI

Vi sono materiali che, pur essendo conduttori, presentano una resistività talmente alta che il loro migliore impiego — in elettronica — consiste nell'utilizzarli per convertire — e a volte per dissipare — l'energia elettrica in energia termica. Un esempio corrente di quanto sopra ci è fornito dalle resistenze dei comuni fornelli o di altri riscaldatori, non ultimo il saldatore elettrico che abbiamo visto dettagliatamente alla nostra seconda lezione.

Se una certa quantità di detti materiali viene predisposta (ad esempio sotto forma di filo avvolto su di un apposito supporto) con due attacchi per un collegamento alle sue estremità (terminali) si ha ciò che correntemente viene definita **resistenza**. Si può fare in modo che tra i due terminali venga interposta tutta o solo una parte della resistenza presente e logicamente si ottiene una resistenza variabile o **reostato.** In questo caso la resistenza può essere realizzata, in pratica, (vedi **figura 1**) mediante un avvolgimento di filo di metallo speciale su supporto isolante: un'estremità è provvista di terminale per il collegamento al circuito esterno, mentre un cursore o molla di contatto, che può spostarsi lungo detta resistenza mediante un comando meccanico, sceglie il valore di resistenza desiderato e costituisce il secondo terminale: un altro tipo è invece a tre terminali in quanto anche la seconda estremità della resistenza è provvista di un sistema di collegamento al circuito esterno, e il cursore, nella sua corsa, viene spostato verso l'una o l'altra delle estremità. Il reostato prende allora il nome di **potenziometro**. La **figura 2 illustra quest'ultimo tipo**.

Uno degi scopi principali dei reostati è di consentire la variazioni della corrente che percorre un dato circuito. Nella sezione A della **figura 3** il terminale variabile A (cursore) è un braccio che può scorrere per la lunghezza della resistenza variando così l'ammontare della resistenza inclusa nel circuito, e di conseguenza, per una legge, detta *legge di Ohm*, che esamineremo in dettaglio nella lezione seguente, la corrente. Nella sezione B della medesima figura, l'intera tensione della batteria è presente ai capi della resistenza, mentre parte di detta tensione viene prelevata in uscita tra un capo della resistenza stessa ed il cursore: in questo secondo caso il potenziometro agisce come *partitore di tensione*, e la parola stessa spiega sufficientemente la definizione, in quanto il circuito di uscita preleva « una parte » della tensione totale; in tal modo si varia contemporaneamente la corrente nel circuito di utilizzazione.

In un certo senso, oltre alla lunghezza del conduttore, alla sua sezione ed alla natura del materiale di cui è composto, anche la temperatura influisce sulla resistenza. In molti conduttori, come ad esempio nel rame, nell'alluminio, nel ferro ecc., la resistenza aumenta con l'aumentare della temperatura: il carbone invece costituisce una eccezione in quanto la sua resistenza diminuisce coll'aumentare della temperatura. Alcune leghe di metalli (ad esempio la manganina e la costantana) hanno proprietà resistive che non variano in maniera apprezzabile col variare della temperatura.

La resistenza relativa di diversi conduttori aventi la

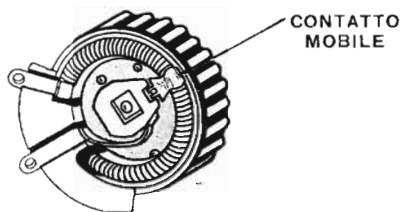



Fig. 1 - Reostato con resistenza a filo. Una delle linguette fa capo ad un terminale della resistenza, e l'altra al cursore: entrambe sono isolate dall'involucro. Il valore ohmico tra le linguette varia da zero al massimo, spostando il cursore.

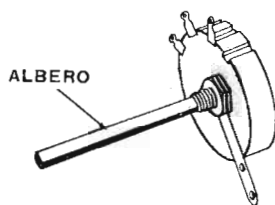



Fig. 2 - Potenziometro: esso ha come punti di contatto, l'inizio e la fine della resistenza, nonchè il cursore. E' spesso previsto un collegamento cosiddetto « di massa » per la custodia metallica.

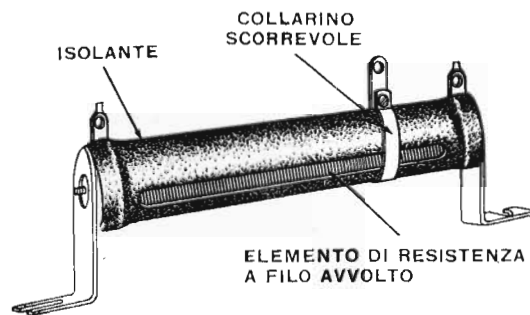



Fig. 2 bis - Resistenza variabile a filo. E' avvolta su supporto ceramico ed è smaltata. Avendo tre terminali, è analoga al potenziometro, ma viene regolata solo saltuariamente mediante spostamento del cursore; è detta « semifissa ».

medesima lunghezza e la medesima sezione può essere confrontata nella tabellina seguente:

Argento	1,00
Rame	1,08
Oro	1,40
Alluminio	1,80
Platino	7,00
Piombo	13,50

Nel breve elenco di cui sopra la resistività dell'argento è considerata come unità, mentre la resistività degli altri metalli è elencata in ordine progressivo crescente

Tra i vari materiali comunemente usati per la fabbricazione delle resistenze metalliche troviamo la cosiddetta argentana, costituita da una lega di rame, nichel e zinco in varie proporzioni che determinano un aumento della resistenza con l'aumentare della percentuale di nichel: detto materiale ha un elevato coefficiente di temperatura. Le leghe di rame e nichel e di ferro e nichel hanno un'alta resistività; la prima varia da 10 a 30 volte quella del rame.

Le leghe di nichel e cromo invece hanno una resistività variabile da 60 a 70 volte quella del rame, e tali leghe si dimostrano particolarmente utili nei dispositivi funzionanti ad alta temperatura, come ad esempio nei forni elettrici. Alcune sostanze hanno caratteristiche di resistività veramenti notevoli:

1 - il carbone, ad esempio, ha una resistività che varia da 400 a 2.400 volte quella del rame, a seconda delle condizioni fisiche del materiale stesso, e viene ampiamente usato per la fabbricazione delle spazzole di contatto dei motori elettrici, nonchè per la fabbricazione delle resistenze fisse utilizzate negli apparecchi radio e nelle apparecchiature elettroniche in genere

2 - Il selenio, elemento appartenente alla categoria dei corpi non metallici, ha la caratteristica di diminuire la sua resistenza quando viene colpito dalla luce.

3 - il bismuto invece ha una resistività che dipende dalla intensità del campo magnetico nel quale si trova.

PERDITE TERMICHE e CARATTERISTICA di POTENZA

Si è trovato sperimentalmente che, quando una corrente I scorre attraverso una resistenza R per t secondi, la quantità di calore che si sviluppa (espressa in una propria unità di misura, che è il *Joule*) è data da:

$$H = RI^2 \times t$$

in cui:

H = calore sviluppato in joule; I = corrente in amp.
R = resistenza in ohm; t = tempo in secondi

La quantità di calore generata in un secondo ($t = 1$) è espressa ovviamente da RI^2 joule. Ora, un *joule al secondo* viene chiamato anche **watt,** unità che esprime la portata alla quale si produce calore. Da quanto esposto si ha (*):

$$Watt = \frac{H}{t} = W = RI^2$$

W = è normalmente considerato come perdita corrispondente a I^2R, e nella maggior parte degli apparecchi commerciali, è necessario mantenere tale perdita di potenza al minimo possibile, per due motivi:

1 - essa costituisce uno spreco di energia,

2 - aumenta la temperatura interna dell'apparecchiatura.

Dal momento che un conduttore si scalda quando conduce una corrente, è importante scegliere per esso una misura, ossia una sezione tale, da evitare il riscaldamento quando scorre la corrente normale di funzionamento per il quale è previsto. Per ogni sezione dei vari conduttori è specificata la corrente massima che

(*) *Riteniamo opportuno chiarire che l'eguaglianza qui sopra espressa e tutte le eguaglianze in genere — ossia, espressioni costituite da due membri il cui valore è eguale — prendono il nome di « equazioni ».*

Il prodotto tra due o più numeri, o lettere rappresentanti valori numerici, può essere indicato tanto da un puntino posto tra di essi, come dal segno di moltiplicazione « × », quanto — ed è assai frequente con le lettere — dal semplice accostamento dei vari fattori. Come si vede sopra, R I² significa perciò R × I².

Dal punto di vista grafico anche la divisione può essere esposta in forme diverse; ad esempio, sempre nell'equazione di cui sopra, la divisione di « H » per « t » può essere scritta sia così come essa è riportata, come potrebbe essere anche espressa: H/t oppure H:t.

Come si sarà notato nel corso del testo sin qui esposto, le lettere vengono spesso usate per indicare determinate unità elettriche o, per meglio dire, fisiche; così qui troviamo ancora, in aggiunta a quelli noti, il simbolo V per indicare la tensione in genere, il simbolo R per indicare la resistenza in genere, e il W (vedi sopra) per indicare la potenza.

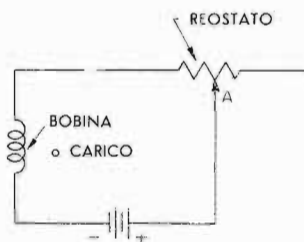



Fig. 3A - Schema tipico di inserimento di un reostato. Spostando il cursore verso sinistra, aumenta la tensione ai capi della bobina, nonchè la corrente; il contrario avviene per lo spostamento inverso.

Fig. 3B - Schema tipico di inserimento di un potenziometro. La tensione della batteria è presente ai capi dell'intera resistenza; la posizione del cursore determina l'ammontare della tensione applicata al carico.

Fig. 4 - Resistenza ad alta dissipazione (alto wattaggio). Analoga a quella di Fig. 2 bis, ma di valore fisso: può sopportare correnti relativamente elevate ed è anche essa smaltata.

può essere sopportata senza provocare surriscaldamento. Come si è già detto, in certe applicazioni, come ad esempio per le lampadine, per le resistenze di riscaldamento ecc. l'effetto termico della corrente è invece desiderato. Vi sono poi casi in cui, come ad esempio in molti apparecchi radio, le correnti sono talmente piccole, che l'effetto di riscaldamento diventa trascurabile.

Riassumendo il concetto di cui sopra: quando una corrente scorre attraverso un apparecchio elettrico, si ha un consumo di un certo ammontare di potenza; questo consumo viene espresso in watt, nel caso di resistenza, mediante la formula $W = I^2R$, nel quale W è la potenza in watt, I è la corrente in ampère, R la resistenza in ohm.

La potenza consumata da una resistenza viene completamente dissipata in calore, per cui maggiore è la sua superficie — e più libera è la circolazione dell'aria intorno ad essa — maggiore è la facilità con la quale detta resistenza può dissipare tale calore. Generalmente, una resistenza di notevoli dimensioni (intendiamo dimensioni fisiche) avrà una portata in potenza maggiore di una resistenza, di pari valore ohmico, di dimensioni inferiori.

I fabbricanti di resistenze classificano i loro prodotti in due modi: in ohm per la resistenza, ed in watt per la potenza: tuttavia essi a volte specificano se una data resistenza deve essere o meno montata in spazio aperto e ad una certa distanza da qualsiasi altro oggetto onde assicurare la portata denunciata.

Dal momento che le resistenze usate nei circuiti radio ed in altri apparecchi elettronici sono forzatamente collocate in uno spazio limitato, esse devono avere portate maggiori che non se fossero usate in conformità alle specificazioni del costruttore, e spesso vengono scelte con portate da 2 a 4 volte superiori a quelle necessarie per il medesimo lavoro in circostanze normali.

RESISTENZE COMMERCIALI

Le resistenze possono essere classificate in due gruppi, a seconda del materiale da cui sono costituite: *resistenze a filo* — solitamente per portate da 2 watt e superiori — e *resistenze chimiche*, per portate inferiori ai 2 watt.

Resistenze a filo. Anche queste, a loro volta, si dividono in due tipi principali:

1 - *resistenze fisse*, aventi un valore stabile e determinato, provviste di due terminali alle estremità, e tuttalpiù di uno o più terminali intermedi, la cui posizione dipende dal valore di resistenza parziale desiderato. Esse sono generalmente costituite da un supporto di materiale isolante e resistente alla temperatura (ceramica, steatite, mica, ecc.) intorno al quale è avvolta la resistenza propriamente detta, costituita da un filo la cui sezione e la cui resistività dipende dalla potenza e dalla resistenza desiderata.

Alle estremità del supporto vengono fissati due anelmetallici stretti mediante una vite o un rivetto, il cui compito, oltre a quello di fissare l'estremità del filo, consiste nel permettere un mezzo di collegamento alla resistenza stessa mediante saldatura. Generalmente, una volta costruite, queste resistenze vengono ricoperte di una speciale vernice, alla quale si fa subire un processo di vetrificazione ad alta temperatura, che ha lo scopo di proteggere il filo ed evitare che le varie spire vengano in contatto tra loro; su tale vernice vengono normalmente stampigliati i valori in ohm ed in watt. Una resistenza tipica, a filo, ad alto wattaggio è illustrata alla **figura 4.**

2 - *resistenze variabili*, (reostati e potenziometri) aventi un valore di resistenza variabile, da zero al valore massimo: come abbiamo già detto i reostati hanno due soli terminali mentre i potenziometri hanno tre terminali. Essi sono costituiti da una resistenza a filo, avvolta su un supporto isolante che può essere cilindrico o piatto. In qualche caso il cursore è costituito da un anello mobile, provvisto di una vite a pressione regolabile a mano, che può essere spostato nella posizione voluta e fissato eventualmente mediante detta vite (vedi fig. 2 bis). In altri casi invece il supporto, di forma piatta, viene piegato ad anello e montato su un secondo supporto provvisto di un perno o albero solidale col cursore. Alla figura 1 e 2 abbiamo riportato due esemplari di tali resistenze (reostato e potenziometro a filo). Ve ne sono poi altri tipi, cosiddetti chimici, che vedremo tra breve, dettagliatamente.

Resistenze chimiche. Le resistenze a filo di valore ohmico elevato, richiederebbero tale quantità di filo che, in pratica risulterebbero costose ed ingombranti; le resistenze di questo genere vengono realizzate facilmente ed economicamente utilizzando, al posto del filo, del carbone polverizzato e mescolato con sostanze

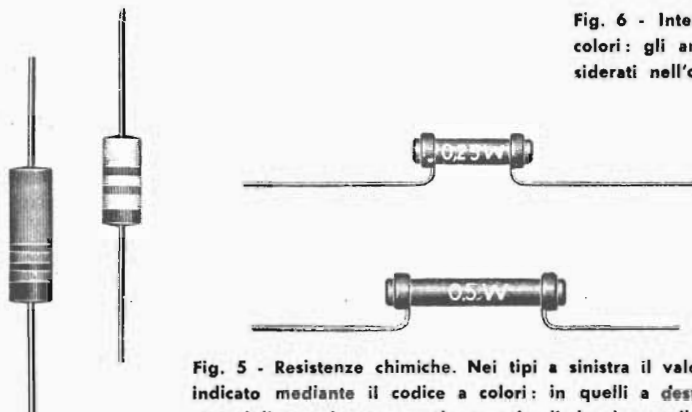



Fig. 5 - Resistenze chimiche. Nei tipi a sinistra il valore è indicato mediante il codice a colori: in quelli a destra è stampigliato sul corpo, così come la dissipazione tollerata. I terminali possono essere tagliati e piegati opportunamente.

Fig. 6 - Interpretazione del codice a colori: gli anelli colorati vanno considerati nell'ordine indicato.

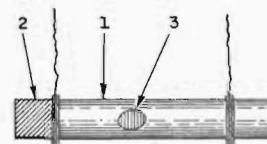
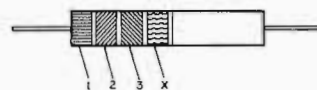



Fig. 7 - Altro sistema di applicazione del codice: i colori sono distribuiti sul corpo, su un terminale, e su un punto centrale, nell'ordine indicato.

conglomeranti. Il rapporto tra la quantità del carbone e quella di dette sostanze determina la resistività per centimetro, ed in tal modo è possibile fabbricare resistenze di vari valori. Esse sono normalmente costituite da un supporto isolante cilindrico (in porcellana o altro materiale analogo) sul quale è depositato uno strato del materiale resistivo. Alle sue estremità vengono poi applicate due capsule metalliche alle quali sono saldati i terminali veri e propri, realizzati in filo di rame, stagnato, rigido.

Le resistenze chimiche attualmente in commercio sono di varie dimensioni e di vari tipi, e, mentre quelle ora descritte, generalmente di produzione europea, sono ricoperte da una vernice protettiva sulla quale è stampato il valore, quelle di produzione americana sono realizzate con un altro sistema, che oggi è stato adottato anche da diverse fabbriche europee. Esse constano di un supporto isolante, internamente forato, contenente la quantità di materiale resistivo necessario per dare il valore di resistenza desiderato. Il foro passante viene poi chiuso dai terminali i quali sono internamente in contatto diretto con la resistenza vera e propria. Su questo tipo di resistenza, oltre al valore che viene espresso mediante un codice a colori, si trova un contrassegno che determina la precisione di detto valore, (approssimazione) ossia la tolleranza denunciata dal fabbricante. Tale contrassegno è costituito da un anello che può essere in colore argento o oro, posto verso una delle estremità del corpo. Se l'anello è di colore oro, la tolleranza è pari a ± 5%, mentre se è d'argento, essa è pari al ± 10%. Ciò significa — in altre parole — che una resistenza da 1000 ohm con anello color oro può avere un valore compreso tra 950 e 1.050, mentre, nel secondo caso, il valore effettivo può essere compreso tra 900 e 1.100 ohm. L'assenza totale del contrassegno di tolleranza significa che la tolleranza stessa è del ± 20%.

Diversi tipi di resistenze chimiche sono illustrati dalla **figura 5**.

CODICE dei COLORI

I moderni apparecchi radio, televisori, strumenti ed altri apparecchi elettronici, utilizzano ovviamente resistenze di vari valori, e, allo scopo di provvedere alla riparazione col massimo risparmio di lavoro e di tempo, è stato necessario permettere al tecnico di riconoscere rapidamente tale valore. Si è stabilito di esprimere il valore mediante i colori, ad ognuno dei quali è stato assegnato un valore numerico come segue:

Nero	**0**
Marrone	**1**
Rosso	**2**
Arancio	**3**
Giallo	**4**
Verde	**5**
Bleu	**6**
Viola	**7**
Grigio	**8**
Bianco	**9**

METODO A (**figura 6**). Si tratta del metodo di sviluppo più recente e più diffuso. Si usa distribuire sul corpo della resistenza 4 anelli colorati i quali, considerati, a partire da una estremità in direzione del centro, indicano il valore ohmico in quanto il numero corrispondente al primo colore indica la prima cifra, quello corrispondente al secondo colore indica la seconda cifra, quella invece corrispondente al terzo colore indica il numero degli zeri da aggiungere alla cifra ottenuta, onde avere il valore effettivo della resistenza, mentre il quarto anello — che può anche essere assente, o, nel caso sia presente, può essere color oro o argento — indica la tolleranza, come detto precedentemente.

Ad esempio, una resistenza di 10.000 ohm avrà, nell'ordine enunciato — ossia da una estremità in direzione del centro — un anello color marrone, uno nero, uno arancio ed infine uno color argento se la tolleranza è del ±10%.

METODO B (**figura 7**). Secondo questo secondo metodo si considera il colore del corpo della resistenza, di un punto presente su di esso, e di un terzo colore presente su una estremità. Il primo indica la prima cifra, il punto la seconda, ed il colore del terminale indica il numero degli zeri; la tolleranza può essere espressa dal colore (argento o oro) presente sull'altra estremità del corpo.

POTENZIOMETRI CHIMICI

I potenziometri chimici sono analoghi a quelli a filo, con l'unica differenza che, essendo destinati all'uso con correnti molto deboli, possono essere di dimensioni notevolmente inferiori.

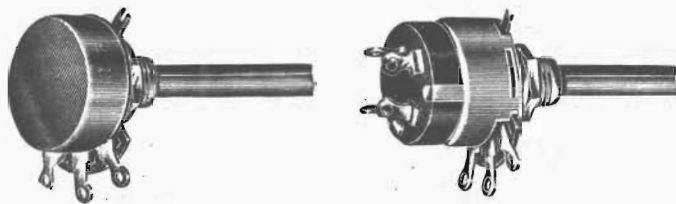



Fig. 8 - Potenziometri chimici o a grafite. La resistenza è racchiusa in un involucro metallico provvisto di linguetta di contatto. Il secondo tipo reca un interruttore azionato dall'albero, la cui rotazione determina lo scatto di apertura e di chiusura.

Fig. 9 - La resistenza collocata all'interno di un potenziometro a variazione non lineare si presenta secondo questa esecuzione del supporto. Le spire dell'estremità sinistra, più corte, hanno minore resistenza di quelle all'estremità destra. Variando la forma del supporto si modifica l'andamento della variazione di resistenza.

Essi constano di uno strato di grafite depositato su di un corpo isolante, generalmente cartone bachelizzato, in quantità tale da formare, tra le estremità, il valore ohmico desiderato. Il supporto ha una forma a corona circolare, e, nel punto di inizio, e di fine della resistenza, porta due pagliette che permettono il collegamento mediante saldatura. Esso è inoltre montato su di un secondo supporto che alloggia una bussola portaperno. In essa ruota l'albero centrale che pur essendo solidale col cursore, è isolato da questo. Il cursore, a sua volta, è in contatto con una terza paglietta posta in centro alle altre due, sia mediante un filo avvolto a spirale — in modo da non rompersi a causa delle continue rotazioni — sia mediante un contatto strisciante.

Questo tipo di potenziometro — che può essere utilizzato anche come reostato trascurando il collegamento ad una delle estremità — viene generalmente usato come controllo di tono o di volume nei comuni apparecchi radio, o per scopi speciali in alcuni strumenti elettronici.

I potenziometri a grafite, o chimici, vengono posti in commercio in varie forme e dimensioni, ed alcuni di essi sono detti « con interruttore », in quanto dalla parte opposta a quella dove si estende il perno di comando, portano un dispositivo a scatto che permette l'apertura o la chiusura di un circuito completamente indipendente da quello del potenziometro stesso. Tale dispositivo è realizzato in modo tale che, ruotando il perno in senso antiorario, si determina l'apertura dell'interruttore, e, ruotandolo in senso orario a partire dal punto di fermo, se ne determina la chiusura mediante la rotazione dei primi 20 o 30 gradi: naturalmente, poichè tale parte di rotazione del perno è dedicata soltanto al funzionamento dell'interruttore, si fa in modo che il cursore del potenziometro — il quale si sposta contemporaneamente — scorra su una parte della resistenza coperta da uno strato metallizzato e, in realtà, privo praticamente di resistenza, alla fine del quale ha inizio lo strato resistivo vero e proprio. Quest'ultimo tipo viene usato negli apparecchi radio per abbinare l'interruttore di accensione al comando di volume o a quello del tono.

La **figura 8** illustra un esemplare normale ed un esemplare con interruttore.

La caratteristica più importante dei potenziometri, siano essi a filo o chimici, è che la loro variazione di resistenza in funzione della rotazione in gradi può essere lineare oppure logaritmica o esponenziale.

Nel caso della variazione lineare, lo strato di grafite o l'avvolgimento del filo, sono disposti in modo tale che durante l'intera rotazione dell'albero, e quindi del cursore, che normalmente ammonta a 270°, si verifichi la medesima variazione di resistenza per ogni angolo di rotazione. In altre parole, se si fa ruotare il perno di 15 gradi, corrispondenti ad una variazione di 1.000 ohm, i 15 gradi successivi determinano una variazione di altri 1.000 ohm, per cui una rotazione di 30° corrisponde ad una variazione di 2.000 ohm. Nel caso della variazione logaritma invece, la variazione di resistenza non è direttamente proporzionale alla rotazione in gradi, ossia, mentre all'inizio della rotazione, a partire da una estremità, corrisponde una minima variazione di resistenza, alla medesima rotazione, verso l'altro estremo, corrisponde una variazione molto maggiore. Ciò è stato fatto in quanto, essendo detti potenziometri utilizzati generalmente per il controllo di volume degli apparecchi radio, essi devono seguire l'andamento della sensibilità dell'orecchio umano alla variazione dell'intensità del suono percepito, la quale ha un andamento logaritmico, ossia non lineare.

Nello studio dei vari circuiti, sia degli apparecchi per radiocomunicazioni che delle varie apparecchiature, tra le quali non sono da escludere gli strumenti di misura, troviamo a volte che, per determinati scopi, si utilizzano potenziometri a variazione logaritmica inversa: come abbiamo detto, la variazione di resistenza nei potenziometri logaritmici non è lineare in quanto ad ogni spostamento del cursore corrispondono variazioni diverse di resistenza, e, mentre nei tipi normali detto andamento della variazione è in aumento man mano che il cursore ruota in senso orario, nei tipi a variazione logaritmica inversa esso attua una diminuzione man mano che il cursore ruota, sempre in senso orario, in altre parole, con andamento esattamente opposto a quello che si verifica nei tipi a variazione logaritmica normale.

Negli strumenti di misura si trovano a volte tali tipi di potenziometri, ma a filo invece che chimici, ed il sistema di variazione può, in questo caso, essere ottenuto in due modi: il primo consiste nel cambiare la sezione del filo costituente la resistenza, lungo i vari tratti, ed il secondo invece nel variare la forma del

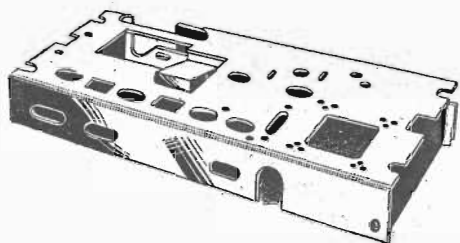



Fig. 10 - Aspetto di un telaio o « chassis » prima del montaggio. I fori di varie forme e misure sono predisposti per il montaggio dei componenti più ingombranti. I componenti di minori dimensioni (resistenze, condensatori, ecc.), vengono a far parte del cablaggio e restano opportunamente collocati al di sotto dello « chassis ».

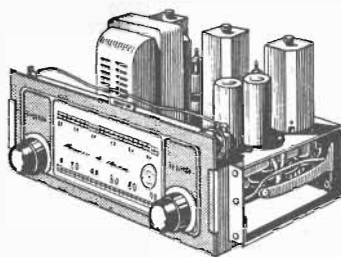



Fig. 11 - Telaio di un ricevitore montato. Sono visibili le valvole ed i trasformatori. I componenti minori che completano i vari circuiti sono invece all'interno.

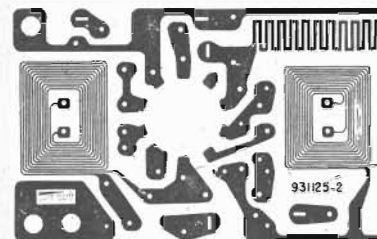



Fig. 12 - Circuito stampato. I collegamenti sono costituiti da settori di rame ricavati con procedimento fotochimico su una basetta. I componenti sono fissati tra i fori con saldatura a stagno.

supporto isolante sul quale esso è avvolto, facendo in modo che il suo sviluppo, normalmente rettangolare, abbia invece una forma triangolare. In tal modo, come mostra la **figura 9**, la variazione di resistenza man mano che il cursore si sposta verso l'estremità più alta aumenta, e viceversa.

IL TELAIO o CHASSIS

Qualsiasi apparecchiatura elettronica, semplice o complessa, viene normalmente montata su di un telaio, altrimenti detto chassis; esso ha il compito di raggruppare tutti i componenti di maggior peso e volume, affinchè costituiscano una struttura rigida che ospita — all'interno ed all'esterno — i collegamenti elettrici nonchè i componenti minori che nell'assieme costituiscono il circuito.

La tecnica costruttiva del telaio deve considerare in primo luogo la massima economia di spazio, al fine di poter collocare gli organi ad una minima distanza tra loro, evitando collegamenti troppo lunghi, pur realizzandosi un montaggio razionale che consenta cioè di accedere ai vari componenti con una certa comodità.

I telai in commercio — e quelli utilizzati dalle fabbriche per i loro diversi apparecchi — sono di vari tipi e dimensioni, a seconda dell'uso: nelle realizzazioni economiche sono generalmente di alluminio o di leghe di tale metallo, ottenendosi un peso minimo, ed una certa facilità di lavorazione, in quanto l'alluminio si presta alla foratura ed alla piegatura meglio di altri metalli più duri. Nelle apparecchiature di una certa consistenza, come ad esempio amplificatori, televisori, radar, ecc. si preferisce l'uso di chassis in ferro la cui rigidità permette maggiore stabilità meccanica d'assieme e l'impiego dei componenti più pesanti che si richiedono in tal caso, quali grossi trasformatori, ampi pannelli di comando, ecc.

Data la facilità con cui il ferro si ossida, il telaio viene protetto con cadmiatura, nichelatura, o verniciatura.

La figura 10 mostra un telaio prima del montaggio e la **figura 11,** due telai montati, visti dal di sopra: è facile notare la disposizione dei diversi componenti fissati con viti, oppure con rivetti o ribattini — sia direttamente, sia a mezzo di opportune squadrette — mentre all'interno si hanno i vari collegamenti diretti o indiretti attraverso componenti, quali condensatori, resistenze ecc. componenti che impareremo a conoscere singolarmente quanto prima.

Una delle cose più difficili da apprendere, sebbene in apparenza semplice, nello studio dell'elettronica, è la progettazione di un telaio, in quanto essa è possibile solo quanto siano state acquisite tutte le cognizioni relative alle relazioni e influenze reciproche tra i vari componenti. La miniaturizzazione di questi ultimi, ottenuta recentemente attraverso notevoli perfezionamenti, ha permesso la realizzazione di speciali telai che, oltre a costituire un supporto rigido per i componenti, costituiscono il circuito stesso. Si tratta di « circuiti stampati », realizzati su supporti di materiale isolante sul quale, mediante un procedimento fotochimico, viene riprodotto l'intero circuito ricavandolo, con una buona parte dei collegamenti principali, da una preesistente, sottile lastra metallica.

In questo caso, ogni collegamento termina con un foro praticato nella piastra di supporto, nel quale foro si introduce il terminale del componente da collegare in quel punto; segue la fase di saldatura che, industrialmente, viene realizzata in un'unica operazione, secondo nuove tecniche. Tali tipi di circuiti, due dei quali sono visibili in **figura 12,** hanno segnato un'epoca nella storia dell'elettronica in quanto hanno permesso una enorme riduzione del tempo necessario per il montaggio di un apparecchio, riducendo contemporaneamente il costo e la possibilità di guasti, ma per il momento il loro impiego è limitato alle apparecchiature di dimensioni ridotte, come ad esempio piccoli apparecchi radio portatili, piccoli radiotrasmettitori, amplificatori per deboli di udito; recentemente si è esteso l'impiego a parti di televisori ed a registratori.

Questo nuovo indirizzo industriale dei circuiti stampati, sarà oggetto di una apposita lezione del nostro Corso.

INTERRUTTORI - DEVIATORI - COMMUTATORI

Compito di un « interruttore », come dice la parola stessa, è di *interrompere* il passaggio di una corrente elettrica: oltre alla sola azione di « interrompere », si presenta spesso la necessità, per determinate ragioni, di inviare detta corrente alternativamente ad un conduttore o ad un altro, e questo semplice compito spiega di per se il funzionamento del « deviatore ». Vedremo

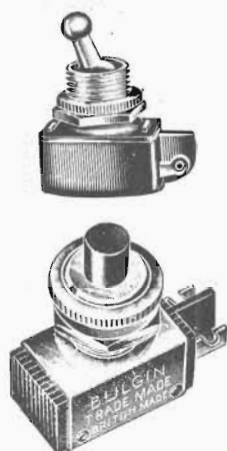



Fig. 13 - Piccoli interruttori. Lo scatto di una levetta, o la pressione su di un pulsante, determina la chiusura del contatto tra le due linguette laterali.

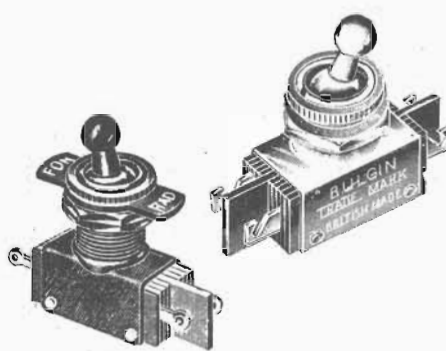
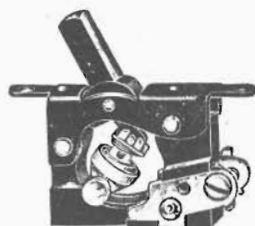



Fig. 14 - Due tipi di deviatori, di cui uno a 2 vie con un contatto in comune, ed uno a 2 vie con contatti indipendenti.

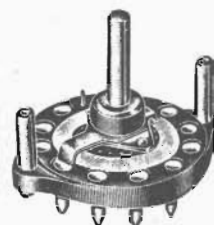



Fig. 15 - Commutatore rotante a molteplici posizioni, per correnti di media intensità.

anche come, assai spesso, sia necessario disporre di un dispositivo che permetta di inviare la medesima corrente su vari conduttori, contemporaneamente o separatamente; per ottenere ciò si impiegano accessori analoghi ai deviatori, ma più complessi, detti normalmente « commutatori ». Quanto segue chiarirà meglio i concetti ora esposti.

Interruttori. Si intende, per interruttore, un dispositivo che, munito di due contatti separati, permette, mediante il funzionamento di una leva o di altro, sia di mettere questi ultimi in unione tra loro, che — con operazione inversa — isolarli.

La **figura 13** mostra alcuni tipi di interruttori nei quali appare evidente quanto si è detto: come si vede, essi presentano una notevole analogia con quelli usati nei comuni impianti di illuminazione per accendere o spegnere una lampadina o qualsiasi altro dispositivo azionato dalla corrente elettrica, ed i tipi usati in elettronica hanno l'unica differenza di essere realizzati in forme adatte al montaggio su pannelli, quadri di comando o chassis, secondo una estetica conforme a tali apparecchiature.

Gli interruttori più comuni sono a pulsante o a leva; la speciale forma di questi ultimi determina la definizione di « interruttori a pallina » o a « levetta ». Il contatto tra i due *poli* viene stabilito da un corpo metallico che, grazie alla pressione della molla azionata dalla leva esterna, si sposta con un scatto più o meno accentuato, stabilendo il dovuto contatto oppure togliendolo. Si hanno anche, assai spesso, interruttori rotativi, azionati cioè con la rotazione di un perno, generalmente per un angolo di 30°.

Deviatori. Come si è detto precedentemente, i deviatori vengono impiegati per *deviare* una corrente da un conduttore ad un altro. Nella **figura 14** si può notare la forma di un paio di tipi, nei quali sono presenti tre o quattro contatti: nel primo caso la parte mobile azionata dalla leva a molla costituisce il cosidetto polo « comune » in quanto porta la corrente da deviare, mentre gli altri due, scelti dalla posizione assegnata alla leva stessa, costituiscono le due linee di utilizzazione.

Nel secondo caso invece la parte mobile è indipendente, ossia essa non deve essere direttamente collegata, bensì ha il compito di mettere in contatto tra loro le coppie di contatti opposti. Se ognuna di dette coppie ha un contatto in comune con uno dell'altra, il dispositivo è un vero e proprio deviatore, mentre se le due coppie sono isolate tra loro il dispositivo può essere considerato un « commutatore », in grado cioè di chiudere o un circuito o un altro, sia questo parte del primo o indipendente.

Per meglio rendere l'idea, possiamo rilevare l'analogia con gli impianti di illuminazione domestica anche in questo caso; è infatti facile notare in certe installazioni, specie nel caso del lampadario multiplo, un deviatore utilizzato per accendere la sola lampadina centrale, oppure le lampadine montate intorno a questa ultima.

Commutatori. Come il termine stesso indica, il commutatore viene utilizzato per *commutare* una corrente su due o più linee, oppure, nel caso di commutatore complesso, per commutare più correnti su più linee.

A differenza del deviatore, esso consiste di un supporto centrale mobile, detto *rotore*, munito di uno o più contatti, a seconda dei casi, e di una serie di contatti periferici, costituenti lo *statore*, presentante tutti i contatti relativi alle varie linee. Nel caso del commutatore è necessario chiarire i concetti di *via* e di *posizione*: si intende per via una linea in grado di essere inserita, e per posizione lo scatto che determina l'inserimento di una linea. Per questo motivo esistono commutatori a più vie ed a più posizioni. Ad esempio, un commutatore a due posizioni e due vie può commutare due correnti diverse ed ognuna su due linee, e così, un commutatore a cinque vie e otto posizioni può commutare cinque correnti diverse ed ognuna su otto linee.

Come nel caso degli interruttori e dei deviatori, i commutatori vengono posti in commercio in varie forme e dimensioni; le **figure 15** e **16** illustrano due tipi tra i più correnti.

Una caratteristica comune a tutti questi organi è la necessaria sicurezza di contatto, determinata dalla natura dei metalli impiegati e dal sistema di contatto, nonchè dell'atrito e dalla pressione dei contatti mobili nei confronti di quelli fissi.

Le dimensioni dipendono generalmente dalla *tensione* che tali dispositivi devono poter sopportare senza dare luogo a scariche o a scintillio, e dalla *corrente* che li attraversa. Infatti, si noterà che un interruttore

Fig. 16 — Commutatore ad una sezione, con 2 vie a 5 posizioni.

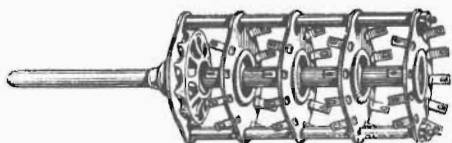
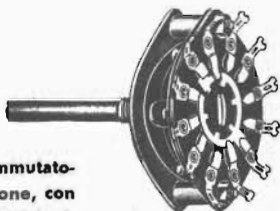



Fig. 17 - Commutatore rotante a 4 sezioni.

Fig. 19 - Presa per spinotti a « jack ». Vi sono vari tipi, con o senza chiusura o apertura automatica di circuiti.

Fig. 18 - Spinotto a « jack »: la punta è isolata dal corpo, e costituisce, con questo, i due contatti.

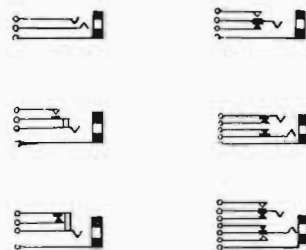



Fig. 20 - Schematicamente le prese per spinotti a « jack » vengono così disegnate. L'inserimento dello spinotto determina lo spostamento delle mollette di contatto, le quali azionano altri contatti con esse solidali.

o un deviatore o infine un commutatore, che debbano sopportare tensioni di qualche centinaio di volt, hanno caratteristiche meccaniche differenti da quelli destinati a sopportare tensioni molto inferiori. Infine quelli per alte tensioni, dell'ordine di migliaia di volt, sono montati su rotori e statori in ceramica o in steatite, ad alto coefficiente di isolamento.

Analogamente, per correnti deboli, si usano contatti piccoli ed a bassa pressione, mentre nel caso di correnti notevoli i contatti sono di dimensioni maggiori, ossia più massicci, e la pressione di contatto è maggiore, con un conseguente aumento dello sforzo meccanico necessario per effettuare la commutazione o scatto.

I migliori commutatori presentano i contatti in metallo argentato o addirittura in lega di argento, al fine di assicurare la minima resistenza elettrica, resistenza che sarebbe nociva se elevata, e di evitare, per quanto possibile, l'ossidazione dovuta alle scintille che si producono all'atto della chiusura o dell'apertura di un circuito nel quale sta circolando corrente.

Alcuni commutatori, dei tipi più complessi, come quello mostrato in **figura 17**, sono realizzati in diverse sezioni o piani, i quali sono costituiti da statori uniti tra loro da lunghe viti con opportuni distanziatori sì da permettere una sufficiente rigidità del dispositivo, e da rotori coassiali (liberi di muoversi ognuno rispetto al proprio statore, ma azionati tutti contemporaneamente dal medesimo albero di rotazione).

Le applicazioni di questi componenti sono innumerevoli nel campo della elettronica, e non mancheremo di constatarne l'utilità man mano che ci addentreremo nello studio delle realizzazioni pratiche.

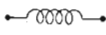
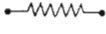
IL JACK

Tra i vari accessori il jack occupa un posto importante in quanto permette l'inserzione (collegamento) ed il distacco di un organo esterno al circuito raggruppato sul telaio, mediante una rapida azione di inserimento o di estrazione nei confronti di una apposita presa. Esso è costituito essenzialmente da un corpo metallico cilindrico, internamente forato. In detto cilindro si trova coassialmente un altro cilindro, di materiale isolante, a sua volta forato, ove alloggia un secondo conduttore che fa capo esternamente una sfera costituente il secondo polo. All'altra estremità si trova la cosiddetta impugnatura — che può essere in metallo o in materiale isolante — ed il cui compito, oltre a quello denunciato dal suo stesso nome, consiste nel proteggere e racchiudere i punti di collegamento del cavo che si allaccia all'organo esterno. Questo tipo di spina, analogo alla banana, ma che si differenzia da questa in quanto è bipolare, è molto utile per il collegamento di cavi schermati dei quali continua la funzione perchè la parte esterna se metallica agisce da schermo nei confronti di quella interna. La **figura 18** riporta due esecuzioni di spina a jack tra le più correnti.

La presa alla quale il jack deve essere collegato viene normalmente fissata al telaio o ad un pannello, ed il suo aspetto normale è illustrato nella **figura 19**; si notano, il dado di fissaggio con l'apposita bussola, la squadretta di supporto, e le mollette di contatto, una delle quali preme sulla parte metallica esterna della spina, mentre l'altra preme sulla sfera terminale della stessa stabilendo così il contatto col conduttore centrale.

I diversi impieghi di questo tipo di spina ne hanno resa necessaria la costruzione in vari modelli. In alcuni di essi si hanno tre o anche quattro contatti contemporaneamente e la presa corrispondente ha altrettante mollette di contatto che agiscono sui vari segmenti terminali isolati tra loro.

Poichè in certi casi è necessario che un circuito sia chiuso attraverso l'organo esterno quando il jack è inserito nella presa, e cortocircuitato quando esso è disinserito, alcune prese hanno dei dispositivi speciali i quali, sfruttando l'elasticità delle mollette di contatto, fanno sì che queste si trovino a contatto con una altra fissa quando il jack è disinserito, e ne vengano allontanate quando invece esso viene inserito. La **figura 20** illustra schematicamente alcune prese che si differenziano appunto per le varie combinazioni di commutazione verificantesi con l'inserimento dello spinotto.

E' importante osservare che, sfruttando il medesimo principio, è possibile realizzare dei tipi di interruttori o di deviatori o infine di commutatori multipli, costituiti da una presa a jack nella quale la spina, inseribile a diverse profondità, permette l'apertura e la chiusura di vari circuiti contemporaneamente o successivamente.

SIMBOLI - ABBREVIAZIONI

d.d.p. = differenza di potenziale
f.e.m. = forza elettro motrice
H = quantità di calore in Joule
I = corrente (in μA, mA, A)
J = Joule — misura della quantità di elettricità
kV = chilovolt = 1.000 volt
kΩ = chilo ohm = 1.000 ohm
log. = logaritmo in base 10
mA = milliampere = 1/1.000 di ampere
mV = millivolt = 1/1.000 di volt
MΩ = Megaohm = 1.000.000 di ohm
Ohm = unità di resistenza
Q = Coulomb, unità della quantità di elettricità
R = resistenza (in μohm, ohm, kohm, Mohm)
t = unità di tempo in secondi
V = tensione (in μV, mV, V, kV)
W = Watt — unità di potenza dissipata
\+ = Segno positivo
— = Segno negativo
μ = (mu) Micro = 1/1.000.000 dell'unità che segue
μμ = (mu mu) Micro-micro = 1/1.000.000 di μ
Ω = (omega) Ohm

FORMULE

$H = RI^2 \times t$

$Q = I \times t$

$W = R \times I^2$

SEGNI SCHEMATICI

= Pila ad 1 elemento
= Batteria di pile a 4 elementi
= Bobina con nucleo ad aria
= Resistenza fissa
= Reostato
= Potenziometro
= Interruttore semplice
= Interruttore bipolare (due vie)
= Deviatore semplice
= Deviatore bipolare (due vie)
= Commutatore 1 via, 3 posizioni
= Commutatore 2 vie, 3 posizioni

DOMANDE sulle LEZIONI 4ª e 5ª

N. 1 -
A cosa si possono paragonare una carica positiva e una carica negativa? In quale caso un corpo è considerato neutro?

N. 2 -
Cosa si intende per «molecola» e per «atomo»?

N. 3 -
Come si suddivide un atomo?

N. 4 -
Cosa è un «ione»?

N. 5 -
Quale è la differenza tra corpi conduttori e corpi isolanti? Esiste una linea netta di divisione tra dette due categorie?

N. 6 -
Quale è la legge che governa i rapporti tra cariche elettriche analoghe e cariche opposte?

N. 7 -
Cosa si intende per «proporzione inversa»?

N. 8 -
Cosa è un «campo elettrico»?

N. 9 -
In cosa consiste il passaggio di una «corrente elettrica»?

N. 10 -
A cosa equivale la corrente di 1 ampère?

N. 11 -
Cosa si intende per «tensione»?

N. 12 -
Cosa è la resistenza? Quale è la sua unità di misura? A cosa equivale quest'ultima?

N. 13 -
A quale coefficiente equivalgono i prefissi «k», «M», e «micro»?

N. 14 -
Cosa si intende per «reostato» e per «potenziometro»?

N. 15 -
A cosa equivale la «potenza elettrica» in funzione della resistenza e della corrente? Come si misura?

N. 16 -
In quale senso scorre la corrente elettrica in un generatore? E in quale senso scorre in un circuito esterno?

N. 17 -
Quale è il valore di una resistenza contrassegnata con quattro colori nel seguente ordine: rosso, verde, giallo, oro?

N. 18 -
Quali sono i colori di una resistenza da 50 kohm?

N. 19 -
Cosa si intende per «deviatore»?

N. 20 -
Quale è il compito di un «commutatore»?

RISPOSTE alle DOMANDE di Pag. 17

N. 1 - Due: la frequenza e l'ampiezza.

N. 2 - Per ampiezza si intende la distanza tra picco e picco di due semionde di segno contrario, ed in senso perpendicolare all'asse del tempo. Per frequenza si intende il numero delle vibrazioni che hanno luogo nell'unità di tempo.

N. 3 - Una semionda equivale alla metà di un ciclo. Essa può essere positiva o negativa.

N. 4 - Solo le onde elettriche.

N. 5 - Allorchè una semionda segue nella sua formazione un determinato andamento armonico, e la semionda successiva è opposta alla prima e ad essa simmetrica.

N. 6 - Le frequenze limite sono 16 Hz e 20.000 Hz.

N. 7 - B.F. = Bassa Frequenza, ossia la gamma delle frequenze che possono essere percepite dall'orecchio umano. A.F. = Alta Frequenza, ossia tutte le frequenze maggiori di 20 kHz.

N. 8 - Allorchè si trova in presenza di onde la cui frequenza corrisponde alla sua frequenza di risonanza.

N. 9 - La distanza tra due punti simmetrici di due cicli nella loro rappresentazione grafica, ovvero la distanza tra il punto di inizio e quello di fine di un ciclo completo.

N. 10 - $= \dfrac{300.000}{\text{Frequenza}}$

N. 11 - Un'onda portante è un'oscillazione destinata a variare in funzione di un segnale detto « modulante ».

N. 12 - La modulazione consiste nella sovrapposizione di un'onda (modulante) ad un'altra onda (portante) determinando così una variazione nelle caratteristiche di quest'ultima.

N. 13 - Un'onda modulata è un'onda portante la cui ampiezza, frequenza o fase viene variata in seguito alla modulazione.

N. 14 - Per rivelazione si intende la separazione della frequenza modulante dall'onda portante, ad opera di un dispositivo detto « rivelatore » o « detector ».

N. 15 - Una espressione costituita da un numero, detto « base », e da un « esponente ». Il numero deve essere moltiplicato per se stesso tante volte quante ne indica l'esponente.

N. 16 - a 64, 81, 25, 7, $\dfrac{1}{100}$, $\dfrac{1}{1.000}$, $\dfrac{1}{100.000}$, $\dfrac{1}{27}$.

N. 17 - Il mutamento della sua direzione nel suo spostamento attraverso lo spazio, dovuto al passaggio da un mezzo ad un altro, come ad esempio dall'atmosfera alla stratosfera.

N. 18 - La sua deviazione intorno ad un corpo che si trova sul suo percorso; ad esempio, una montagna.

N. 19 - In corrispondenza delle più basse.

N. 20 - Il saldatore normale ed il saldatore istantaneo: il secondo, a differenza del primo, viene alimentato dalla corrente soltanto nei momenti in cui funziona.

TABELLA 11 - CODICE a COLORI dei VALORI OHMICI più COMUNI

RESISTENZA OHM	PRIMA FASCIA (CORPO)	SEC. FASCIA (ESTREMITÀ)	TERZA FASCIA (PUNTO)
100	marrone	nero	marrone
200	rosso	nero	marrone
250	rosso	verde	marrone
300	arancione	nero	marrone
400	giallo	nero	marrone
500	verde	nero	marrone
750	viola	verde	marrone
1.000	marrone	nero	rosso
1.500	marrone	verde	rosso
2.000	rosso	nero	rosso
2.500	rosso	verde	rosso
3.000	arancione	nero	rosso
3.500	arancione	verde	rosso
4.000	giallo	nero	rosso
5.000	verde	nero	rosso
6.000	azzurro	nero	rosso
8.000	grigio	nero	rosso
9.000	bianco	nero	rosso
10.000	marrone	nero	arancione
12.000	marrone	rosso	arancione
15.000	marrone	verde	arancione
17.000	marrone	viola	arancione
20.000	rosso	nero	arancione
25.000	rosso	verde	arancione
30.000	arancione	nero	arancione
40.000	giallo	nero	arancione
50.000	verde	nero	arancione
60.000	azzurro	nero	arancione
75.000	viola	verde	arancione
100.000	marrone	nero	giallo
150.000	marrone	verde	giallo
200.000	rosso	nero	giallo
250.000	rosso	verde	giallo
300.000	arancione	nero	giallo
400.000	giallo	nero	giallo
500.000	verde	nero	giallo
1 Mohm	marrone	nero	verde
1,5 Mohm	marrone	verde	verde
2 Mohm	rosso	nero	verde
2,5 Mohm	rosso	verde	verde
3 Mohm	arancione	nero	verde
4 Mohm	giallo	nero	verde
5 Mohm	verde	nero	verde

Le tabelle riportate nel presente fascicolo sono, secondo quanto detto all'inizio della terza lezione, per la maggior parte attinenti agli argomenti in esso considerati.

L'utilità della tabella 11 consiste nella praticità d'uso in quanto, essendo in essa elencati i valori più correnti delle resistenze impiegate in radiotecnica, è sufficiente una rapida osservazione per determinare la colorazione di una certa resistenza, e viceversa — se necessario — il valore incognito sulla scorta dei colori. Una simile tabella risulta pertanto di grande aiuto in laboratorio, in particolare a chi non ha ancora acquisito la pratica occorrente ad individuare immediatamente i valori resistivi.

La tabella 12 elenca i colori adottati nei rispetti dei relativi valori e, a seconda del loro ordine progressivo e della loro posizione reciproca sul corpo della resistenza, metterà il lettore in grado di riconoscerne il valore.

La tabella 13 sintetizza invece il metodo del codice a colori in base al quale vengono contraddistinte le resistenze nel loro valore ohmico.

La tabella 14 consente di determinare a priori in milliampère la massima corrente che può scorrere in una resistenza avente un dato valore di dissipazione in Watt, ossia la massima corrente ammissibile senza che si produca in essa una temperatura tale da deteriorarla.

TABELLA 12 -

CODICE dei
COLORI per RESISTENZE

Esempi: una resistenza i cui anelli colorati hanno il seguente ordine iniziando dall'estremità: arancio, verde, rosso, argento, ha un valore di 3.500 ohm, ed una tolleranza del 10%. Il suo valore è quindi compreso tra 3.150 e 3.850 ohm. Analogamente, una resistenza avente il corpo verde, i terminali rossi, ed un punto giallo nel corpo, ha un valore di 520.000 ohm.

COLORE	FASCIA A (prima cifra)	FASCIA B (seconda cifra)	FASCIA C (fattore di moltiplicazione)	FASCIA D (tolleranza)
Nero	0	0	1	—
Marrone	1	1	10	—
Rosso	2	2	100	—
Arancio	3	3	1.000	—
Giallo	4	4	10.000	—
Verde	5	5	100.000	—
Bleu	6	6	1.000.000	—
Viola	7	7	10.000.000	—
Grigio	8	8	100.000.000	—
Bianco	9	9	1.000.000.000	—
Oro	-	-	—	5%
Argento	-	-	—	10%
Nessuno	-	-	—	20%

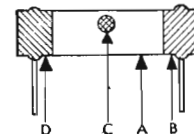
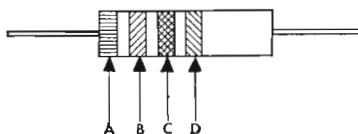



TABELLA 13 -

DISPOSIZIONE dei
COLORI nel CODICE per RESISTENZE

RESISTENZE CON TERMINALI COASSIALI	COLORE	RESISTENZE CON TERMINALI LATERALI
Fascia A	Indica la prima cifra significativa in Ohm	Corpo A
Fascia B	Indica la seconda cifra significativa	Estremità B
Fascia C	Indica il fattore decimale di moltiplicazione	Fascia C o punto
Fascia D	Se è presente, indica la percentuale di tolleranza. Se manca, la tolleranza è del 20%.	Estremità D

N.B. Le resistenze a bassa potenza avvolte con filo isolato hanno terminali coassiali ed il valore è contrassegnato in codice secondo il sistema della figura di sinistra, con la sola differenza che la larghezza della zona A è doppia.

TABELLA 14 - CORRENTE MASSIMA in milliampère AMMISSIBILE in una RESISTENZA

VALORE di R	1/8 W	1/4 W	1/2 W	1 W	2 W	3 W	5 W	10 W	20 W
50	50	71	100	143	200	244	316	450	630
100	35	50	70	100	142	173	224	316	448
150	28	40	58	83	116	141	182	260	365
200	24	35	50	71	100	122	158	225	316
250	22	31,5	44,8	63	90	110	142	203	284
300	20	29	41	58	82	100	128	183	256
350	18	27	38	54	76	92	120	169	240
400	17,5	25	35,5	50	71	86	112	158	224
450	16,5	23	33,4	46	67	81	104	149	208
500	15,6	22	31,5	44	63	77	100	142	200
600	14,2	20	29	41	58	70	91	130	182
700	13,2	18,7	26,6	37,8	53	65	84	120	168
800	12,4	17,7	25	35,2	50	60,9	79	115	158
900	11,8	16,7	23,6	34,3	46	57,6	74	108	148
1.000	11	15,8	22,4	31,5	45	54	71	100	142
1.500	9	12,9	18,2	25,5	36,5	44	58	82	116
2.000	7,8	11	15,8	22,4	31,5	38	50	71	100
2.500	7	10	14,2	20	28,5	34	45	64	90
3.000	6,4	9,1	13	18,3	26	31	41	58	82
3.500	6,0	8,4	11,9	16,7	24	29,2	37,4	54	75
4.000	5,5	7,9	11,2	15,8	22,4	27	35	50	70
4.500	5,2	7,4	10,4	15,1	21,1	25,8	33,1	48	66
5.000	5	7,1	10	14,2	20	24	32	45	57
6.000	4,5	6,4	9,1	13,6	18,3	22,3	28,8	42	64
7.000	4,2	6,0	8,4	11,8	16,8	21,4	26,6	37	53
8.000	3,8	5,5	7,9	11,1	15,8	19,3	24,9	34	50
9.000	3,7	5,2	7,5	10,4	14,8	18,2	23,5	32,5	46
10.000	3,5	5	7,1	10	14.2	17	22	31,6	44
11.000	3,4	4,7	6,7	9,4	13,4	16,4	21,2	29,2	42,4
12.000	3,2	4,5	6,5	9,0	12,9	15,8	20,7	28	41,0
13.000	3,1	4,35	6,1	8,7	12,4	15,1	19,5	27,1	39,0
14.000	3,0	4,25	6,0	8,4	11,9	14,6	18,8	26,4	37,5
15.000	2,8	4,13	5,8	8,1	11,6	14	18	26	36
16.000	2,75	3,9	5,7	7,9	11,2	13,7	17,6	25	35
17.000	2,70	3,7	5,6	7,6	10,8	13,3	17,0	24,2	34
18.000	2,62	3,65	5,45	7.4	10,5	12,9	16,5	23,6	33
19.000	2,56	3,60	5,20	7,2	10,2	12,5	16,2	23,0	32,5
20.000	2,5	3,5	5	7,1	10	12	16	22,5	32
25.000	2,2	3,1	4,4	6,3	8,9	11	14	20	28
30.000	2,05	2,9	4,1	5,8	8,2	10	13	18,3	26
40.000	1,75	2,5	3,5	5	7	8,6	11	15,8	22
50.000	1,58	2,2	3,1	4,4	6,1	7,7	9,8	14,2	20
75.000	1,29	1,83	2,6	3,6	5,2	6,3	8	11,4	16
100.000	1,1	1,58	2,2	3,1	4,5	5,4	7	10	14
150.000	0,9	1,29	1,81	2,6	3,6	4,4	6	8,2	12
200.000	0,78	1,1	1,58	2,2	3,1	3,8	5	7,1	10
250.000	0,7	1	1,42	2	2,8	3,7	4,5	6,4	9
300.000	0,65	0,9	1,3	1,8	2,6	3,1	4.1	5,8	8,2
400.000	0,57	0,78	1,12	1,57	2,2	2,7	3,5	5	7
500.000	0,49	0,7	1	1,4	2	2,4	3,15	4,5	6,3
1 MΩ	0,35	0,49	0,7	1	1,4	1,7	2,2	3,16	4,4
2 MΩ	0,25	0,35	0,5	0,7	1	1,2	1,6	2,25	3,2
5 MΩ	0,15	0,23	0,3	0,46	0,6	0,8	1	1,42	2
10 MΩ	0,1	0,15	0,23	0,3	0,5	0,6	0,7	1	1,4

TABELLA 15 - TAVOLA PERIODICA degli ELEMENTI

ELEMENTO	SIMBOLO	N. atomico	PESO atomico
Afnio	Hf	72	178,6
Alluminio	Al	13	26,98
Americio	Am	95	243
Antimonio	Sb	51	121
Argento	Ag	47	107,8
Argon	A	18	39,94
Arsenico	As	33	74,91
Astatine	At	85	211
Attinio	Ac	89	227
Azoto	N	7	14,00
Bario	Ba	56	137,3
Berillio	Be	4	9,02
Berkelio	Bk	97	249
Bismuto	Bi	83	209
Boro	B	5	10,82
Bromo	Br	35	79,91
Cadmio	Cd	48	112,4
Calcio	Ca	20	40,08
Californio	Cf	98	249
Carbonio	C	6	12,01
Cerio	Ce	58	140,1
Cesio	Cs	55	132,9
Cloro	Cl	17	35,45
Cobalto	Co	27	58,94
Columbio	Cb	41	92,94
Cripton	Kr	36	83,8
Cromo	Cr	24	52,01
Curio	Cm	96	245
Deuterio	D	1	2,014
Disprosio	Dy	66	162,4
Einstenio	E	99	254
Elio	He	2	4,003
Erbio	Er	68	167,2
Europium	Eu	63	152
Fermio	Fm	100	255

ELEMENTO	SIMBOLO	N. atomico	PESO atomico
Fluoro	F	9	19
Ferro	Fe	26	55,85
Fosforo	P	15	30,97
Francio	Fr	87	223
Gallio	Ga	31	69,72
Gadolinio	Gd	64	156,9
Germanio	Ge	32	72,60
Idrogeno	H	1	1,008
Indio	In	49	114,7
Iodio	I	53	126,9
Iridio	Ir	77	192,2
Itterbio	Yb	70	173,0
Ittrio	Y	39	88,92
Lantanio	La	57	138,9
Litio	Li	3	6,940
Lutezio	Lu	71	174,9
Magnesio	Mg	12	24,32
Manganese	Mn	25	54,94
Mendelevio	Mv	101	256
Mercurio	Hg	80	200,6
Molibdeno	Mo	42	95,95
Neodimio	Nd	60	144,2
Neon	Ne	10	20,18
Nettunio	Np	93	237
Nichel	Ni	28	58,69
Niobio	Nb	41	92,91
Nobelio	No	102	253
Olmio	Ho	67	164,9
Oro	Au	79	197,2
Osmio	Os	76	190,2
Ossigeno	O	8	16
Palladio	Pd	46	106,7
Piombo	Pb	82	207,2
Platino	Pt	78	195,2
Plutonio	Pu	94	242

ELEMENTO	SIMBOLO	N. atomico	PESO atomico
Polonio	Po	84	210
Potassio	K	19	39,1
Praseodimio	Pr	59	140,9
Prometio	Pm	61	145
Protattinio	Pa	91	231
Radio	Ra	88	226,05
Radon	Rn	86	222
Rame	Cu	29	63,54
Renio	Re	75	186,3
Rodio	Rh	45	102,9
Rubidio	Rb	37	85,48
Rutenio	Ru	44	101,7
Samario	Sm	62	150,4
Scandio	Sc	21	44,96
Selenio	Se	34	78,96
Silicio	Si	14	28,09
Sodio	Na	11	22,99
Stagno	Sn	50	118,7
Stronzio	Sr	38	87,63
Tallio	Tl	81	204,3
Terbio	Tb	65	158,93
Tantalio	Ta	73	180,95
Tecnicio	Tc	43	99
Tellurio	Te	52	127,6
Titanio	Ti	22	47,90
Torio	Th	90	232
Tritio	T	1	3,017
Tulio	Tm	69	168,4
Tungsteno	W	74	183,9
Uranio	U	92	238
Vanadio	V	23	50,95
Xeno	Xe	54	131,3
Zinco	Zn	30	65,38
Zirconio	Zr	40	91,22
Zolfo	S	16	32,06

La tabella sopra riportata elenca, in ordine alfabetico, tutti gli elementi puri fino ad oggi noti. A lato di ognuno di essi è riportato il simbolo universalmente adottato per accordi internazionali (generalmente esso è ricavato dalle iniziali della denominazione corrispondente in lingua latina), nonchè il numero atomico ed il peso atomico. Il primo numero, come è stato detto nel testo della quarta lezione, rappresenta la quantità di elettroni contenuti in un atomo dell'elemento stesso, mentre il secondo numero indica il peso atomico, riferito al peso di un atomo di Idrogeno che viene adottato a tale scopo come unità di misura.

Oltre a ciò, continuando la serie di tabelle di conversione delle unità inglesi in unità decimali, pubblichiamo le tabelle 16, 17, 18 e 19 che consentono rispettivamente di convertire i volumi in pollici cubi in valori corrispondenti in cm cubi, e viceversa, ed i valori di capacità espressi con le unità inglesi nei valori corrispondenti nelle unità decimali, e viceversa. Tali tabelle possono essere facilmente estese ad altri valori inferiori o superiori non contemplati in esse, in quanto è sufficiente moltiplicare o dividere qualsiasi valore base ed il suo corrispondente per il medesimo numero. Se ad esempio un pollice cubo equivale a 16,38 cm^3, la decima parte di un pollice cubo sarà pari a 1,638 cm^3. In tal modo è possibile determinare anche valori intermedi, come ad esempio quello di 1,5 pollici cubi: il valore corrispondente sarà infatti la decima parte del valore corrispondente a 15 pollici cubi. Analogamente, 62 pinte corrispondono a 50 + 12 pinte, e, in litri, a 28,412 + 6,819 = 35,231; viceversa 2,5 litri corrispondono a 0,50 × 5, e quindi a 0,880 pinte per 5, ossia 4,400 pinte.

CONVERSIONE POLLICI cubi in CENTIMETRI cubi

CONVERSIONE CENTIMETRI cubi in POLLICI cubi

CONVERSIONE di PINTE in LITRI

CONVERSIONE FRAZIONI di LITRO in PINTE

TABELLA 16

POLLICI^3	cm^3
1/64	0,254
1/32	0,509
1/16	1,024
1/8	2,048
1/4	4,097
1/2	8,194
1	16,387
2	32,774
3	49,161
4	65,548
5	81,936
6	98,323
7	114,710
8	131,097
9	147,484
10	163,871
11	180,258
12	196,645
13	213,032
14	229,419
15	245,807
16	262,194
17	278,581
18	294,968
19	311,355
20	327,742
21	344,129
22	360,516
23	376,903
24	393,290
25	409,678
26	426,065
27	442,452
28	458,839
29	475,226
30	491,613
31	508,000
32	524,387
33	540,774
34	557,161
35	573,549
36	589,936
37	606,323
38	622,710
39	639,097
40	655,484
41	671,871
42	688,258
43	704,645
44	721,032
45	737,420
46	753,807
47	770,194
48	786,581
49	802,968
50	819,355

TABELLA 17

cm^3	POLLICI^3
1/64	0,001
1/32	0,002
1/16	0,004
1/8	0,008
1/4	0,015
1/2	0,031
1	0,061
2	0,122
3	0,183
4	0,244
5	0,305
6	0,366
7	0,427
8	0,488
9	0,549
10	0,610
11	0,671
12	0,732
13	0,793
14	0,854
15	0,915
16	0,976
17	1,037
18	1,098
19	1.159
20	1,220
21	1,282
22	1.343
23	1,404
24	1.465
25	1,256
26	1,587
27	1,648
28	1,709
29	1,770
30	1,831
31	1,892
32	1,953
33	.2,014
34	2,075
35	2,136
36	2,197
37	2,258
38	2,319
39	2,380
40	2,441
41	2.502
42	2,563
43	2,624
44	2,685
45	2,746
46	2,807
47	2,868
48	2,929
49	2,990
50	3,051

TABELLA 18

PINTE	LITRI
1/64	0,009
1/32	0,018
1/16	0,036
1/8	0,071
1/4	0,142
1/2	0,284
1	0,568
2	1,136
3	1,705
4	2,273
5	2.841
6	3,409
7	3,978
8	4,546
9	5,114
10	5,682
11	6,251
12	6,819
13	7,387
14	7,955
15	8,524
16	9,092
17	9,660
18	10,228
19	10,797
20	11,365
21	11,933
22	12,501
23	13,070
24	13,638
25	14,206
26	14,774
27	15,343
28	15,911
29	16,479
30	17,047
31	17,616
32	18,184
33	18,752
34	19,320
35	19,889
36	20,457
37	21,025
38	21,593
39	22,162
40	22,730
41	23,298
42	23,866
43	24,435
44	25,003
45	25,571
46	26,139
47	26,708
48	27,276
49	27,844
50	28,412

TABELLA 19

LITRI	PINTE
1/64	0,027
1/32	0,055
1/16	0,110
1/8	0,220
1/4	0,440
1/2	0,880
0,01	0,018
0,02	0,035
0,03	0,053
0,04	0,070
0,05	0,088
0,06	0,106
0,07	0,123
0,08	0,141
0,09	0,158
0,10	0,176
0,11	0,194
0,12	0.211
0,13	0,229
0,14	0,246
0,15	0,264
0,16	0,282
0,17	0,299
0,18	0,317
0,19	0,334
0,20	0,352
0,21	0,370
0,22	0,387
0,23	0,405
0,24	0,422
0,25	0,440
0,26	0,458
0,27	0,475
0,28	0,493
0,29	0,510
0,30	0,528
0,31	0,546
0,32	0,563
0,33	0,581
0,34	0,598
0,35	0,616
0,36	0,634
0,37	0,651
0,38	0,669
0,39	0,686
0,40	0,704
0,41	0,722
0,42	0,739
0,43	0,757
0,44	0,774
0,45	0,792
0,46	0,810
0,47	0,827
0,48	0,845
0,49	0,862
0,50	0,880

SOCIETA' PER AZIONI «GELOSO» PER LA COSTRUZIONE DI
MATERIALE ED APPARECCHI ELETTRONICI

GELOSO

CONDENSATORI VARIABILI

Perfetta esecuzione, caratterizzata da elevata precisione di taratura, ottima stabilità meccanica-elettrica, minime perdite ed effetto microfonico trascurabile. Vasta scelta tra diversi tipi, singoli, doppi, tripli, a sezioni speciali.

CONDENSATORI ELETTROLITICI

Quest'organo è soggetto a forti sollecitazioni di natura elettrochimica; è perciò necessario che presenti anzitutto una elevata stabilità chimica che può essergli conferita solamente con speciali procedimenti costruttivi, frutto di lunga esperienza. La GELOSO costruisce tali condensatori da trent'anni. I tipi fabbricati sono 55, rispondenti, nelle dimensioni e nei valori, alle più diverse esigenze della tecnica.

GRUPPI ALTA FREQUENZA

Consentono la più alta efficienza ed offrono sicurezza e stabilità massime di funzionamento. Nei numerosi modelli prodotti si hanno Gruppi e sintonizzatori a più gamme, per M.d.F., M.d.A., OC, con convertitrice, con preamplificazione, ecc.

TRASFORMATORI D'ALIMENTAZIONE

Uno studio accurato del circuito magnetico e del rapporto tra ferro e rame, metodi moderni di lavorazione, rigorosi e molteplici collaudi assicurano al prodotto esattezza e costanza delle tensioni, isolamento perfetto, minimo flusso disperso, basso riscaldamento e capacità di tolleranza al sovraccarico. Comodi e razionali nell'impiego e nel fissaggio: standardizzati in 6 serie per i più vari impieghi.

TRASFORMATORI MEDIA F.

Caratterizzati da elevata costanza di taratura e rendimento assicurano l'eliminazione di una delle principali cause d'instabilità dei radioricevitori. Valori di 467 kHz, 10,7 MHz, 5,5 MHz per FI « intercarrier » e 4,6 MHz per doppio cambiamento di frequenza.

ALTOPARLANTI

È superfluo mettere in evidenza l'importanza dell'altoparlante nella catena di parti di un complesso elettroacustico; esso condiziona la qualità dell'apparecchio al quale è collegato. Gli altoparlanti GELOSO, costruiti in molti tipi, dal più piccolo per apparecchi a transistori, ai modelli maggiori per alta fedeltà, soddisfano le più disparate necessità. Essi sono la risultante di una trentennale esperienza.

Direzione Centrale
V.le Brenta, 29 - MILANO

La Società per Azioni Geloso, costituisce il più grande complesso industriale italiano esclusivamente destinato alla produzione delle apparecchiature e dei materiali radioelettrici. Fondata nel 1931, fino dai primi anni di attività ebbe a godere della fiducia e del consenso di una clientela sempre più vasta, cosicchè il suo sviluppo, basato su sani criteri organizzativi, è stato sempre crescente.

Il complesso industriale Geloso consta di una sede Centrale in Milano (Via Brenta, 29) e di altri stabilimenti in Milano stessa ed in altre località. La produzione viene realizzata secondo i metodi più moderni e razionali, con perfetta coordinazione tra le varie fasi produttive sì da immettere sul mercato prodotti di alta qualità a basso prezzo.

In ognuno dei diversi stabilimenti si attuano lavorazioni di particolare carattere così che le maestranze risultano altamente specializzate nel loro specifico compito.
Il successo ottenuto sui più difficili mercati del mondo è la palese conferma della bontà degli indirizzi tuttora seguiti dalla Società, come agli inizi: produzione di qualità superiore, basso costo, continua ricerca di laboratorio, estesa e pronta organizzazione commerciale e completa documentazione a corredo del prodotto.

Saranno argomento di questo Corso, tra l'altro: **i transistori** questi nuovi, rivoluzionari organi delle più recenti realizzazioni dell'elettronica. L'impiego dei transistori si estende rapidamente: sono già numerosi i ricevitori e gli amplificatori in commercio che ne sono dotati e il loro numero è indubbiamente destinato ad accrescersi perchè i transistori sostituiranno con ampia percentuale, le valvole termoioniche. E' perciò necessario che il radiotecnico li conosca, sappia applicarli, si renda conto di quanto e di come differiscano dalle valvole, sia aggiornato nei tipi e nelle caratteristiche. Saranno descritti numerosi montaggi di ricevitori, trasmettitori e dispositivi elettronici da realizzare con l'impiego di transistori.

La modulazione di frequenza o F.M., come viene correntemente definita, è il sistema di trasmissione radiofonica che in questi ultimi anni è venuto ad affiancarsi a quello classico della modulazione di ampiezza. Che cosa sia la F.M., quali caratteristiche presenti, come funzionino e si realizzino i ricevitori per F.M. sarà ampiamente detto durante lo svolgimento del Corso. Oramai anche i ricevitori più economici sono caratterizzati dalla possibilità di ricezione della modulazione di frequenza: il radioamatore, e più ancora il radioriparatore, devono perciò rendersi pienamente consci della tecnica relativa, degli schemi, e dei particolari circuiti.

Un'altra tecnica in piena evoluzione è quella **dell'Alta Fedeltà.** Le esigenze per ciò che riguarda la fedeltà di riproduzione sonora sono notevolmente aumentate. Il materiale relativo alla sezione di Bassa Frequenza di molti ricevitori nonchè quello di appositi amplificatori, rivelatori e riproduttori si è andato e si va vieppiù affinando e perfezionando; ne risultano nuove tecniche, nuove disposizioni circuitali, nuovi accorgimenti che è duopo conoscere. Citiamo in proposito **la registrazione magnetica** che ha visto un rapido espandersi dei magnetofoni, cui fa riscontro, nella battaglia tra il nastro e il disco, il microsolco. Ora, entrambi hanno affinata la loro tecnica con la **riproduzione stereofonica.**

In questi ultimi tempi hanno fatto la loro comparsa ricevitori e amplificatori montati secondo il sistema dei **circuiti stampati.** Si tratta di pannelli caratterizzati dal fatto che i collegamenti necessari all'unione dei vari componenti sono già esistenti sul pannello stesso, sotto forma di un conduttore che viene ricavato seguendo alcune fasi della tecnica di stampa. E' evidente che un tale sistema — adottato anche parzialmente, e cioè in sole sezioni di un complesso — reca riduzioni di costo notevoli se l'apparecchio viene prodotto in grande serie. E' intuitivo anche che il tecnico debba d'ora in poi sapere quali sono i punti delicati e come ci si debba comportare nei confronti di questo nuovo metodo realizzativo. Il nostro Corso, al momento opportuno, affronta l'argomento e lo illustra nei suoi più minuti dettagli.

Una tra le più allettanti attività in campo radio è quella della **trasmissione dilettantistica.** Chiunque può ottenere la licenza di trasmissione previo un facile esame su argomenti e materia che il nostro Corso ampiamente espone ma esso, in proposito, non si limita alla preparazione per il superamento dell'esame: riporta descrizioni di trasmettitori e ricevitori appositi da realizzarsi, riporta le norme che regolano l'attività, le caratteristiche dei materiali idonei, indirizzi, prefissi, abbreviazioni, ecc. Va ricordato che questa della trasmissione, cioè delle comunicazioni a distanza tra amatori di tutto il mondo, è la forma più suggestiva e appassionante di attività radiotecnica; è proprio tale attività che assai spesso porta alla formazione dei più abili tecnici, come ampiamente l'esperienza dimostra. E' pertanto un passatempo del più alto valore istruttivo che molto spesso contribuisce anche al nascere di amicizie e relazioni con radioamatori di tutti i continenti.

Una forma particolare di detta attività può considerarsi poi il **radiocomando.** Anche in questa branchia sono numerosi gli appassionati. L'argomento non sarà quindi dimenticato nè per chi ha pratica di questa tecnica nè per chi ad essa vuole dedicarsi.

Ovviamente, un'importanza notevole riveste il settore degli strumenti e delle **apparecchiature di misura.** Senza di esse ogni attività e ogni nozione si può dire risulti vana e monca, nel nostro campo: il progettista quanto l'amatore, il riparatore quanto l'installatore e lo stesso commerciante evoluto, hanno necessità di eseguire controlli di efficienza, misure di rendimento, accertamenti, rilievo e ricerca di guasti, tarature, messe a punto ecc. e tutto, è noto, si svolge con l'ausilio degli apparecchi di misura. Naturalmente, per ogni categoria vi sono gli strumenti più indicati e noi di essi forniremo i dati costruttivi, la tecnica di impiego nonchè le norme d'uso sia per i singoli tipi, sia per i diversi impieghi. Tratteremo così della **taratura** e della **ricerca dei guasti.**

E' noto che i laboratori di ricerca applicata più progrediti e più famosi nel mondo sono quelli delle grandiose industrie statunitensi. Dall'U.S.A. ci provengono le notizie delle scoperte più sensazionali in campo radio e tutti quei nuovi dati, quelle norme e quegli schemi che alla scoperta fanno seguito allorchè questa passa alla fase di pratica attuazione e sfruttamento. Orbene, mentre può essere della più grande utilità per un tecnico conoscere la lingua inglese e seguire direttamente sulle riviste americane il progresso, non è detto che chi tale lingua non conosce, non possa sufficientemente interpretare schemi e brevi norme, solo che abbia la possibilità di ricorrere ad un **vocabolario tecnico dall'inglese all'italiano.** Pubblicheremo perciò, su ogni fascicolo, due pagine di vocaboli e termini tecnici con la relativa traduzione e siamo certi che ciò potrà più di una volta tornare utile anche a chi già conosce la lingua inglese.

E veniamo, in ultimo, ad un argomento che certamente il lettore si sarà meravigliato di non aver visto accennato prima: **la televisione.** A questo proposito il nostro programma è quanto mai impegnativo: esso è tale che non ci è consentita per il momento alcuna indiscrezione, soprattutto perchè sulla televisione serbiamo al lettore che ci vorrà seguire per qualche mese una importante e, siamo certi, graditissima sorpresa.

IMPORTANTE! : se vi interessano i prossimi fascicoli datene subito avviso al vostro giornalaio!

Per un anno,
a domicilio,
un completo Corso
che vi costa
un decimo
di tutti gli altri Corsi

Vi formerete
un volume
di ben 1248 pagine:
un prezioso
manuale-enciclopedia
di elettronica.

corso di RADIOTECNICA

pubblicazione settimanale - 15 - 22 ottobre 1960 - un fascicolo lire 150 3° numero

corso di

RADIOTECNICA

settimanale a carattere culturale

Direzione, Amministrazione, Pubblicità:
Via dei Pellegrini 8/4 - Telef. 593.478
MILANO

Ogni fascicolo — contenente 3 lezioni — costa lire 150, acquistato alle edicole.

Se l'edicola risulta sprovvista, o si teme di rimanere privi di qualche numero, si chieda invio settimanale direttamente al proprio domicilio a mezzo abbonamento.

Il versamento per ricevere i 52 fascicoli costituenti l'intero Corso è di lire 6500 + I.G.E. = lire 6630. A mezzo vaglia postale, assegno bancario, o versamento sul conto corr. postale 3/41.203 del « Corso di RADIOTECNICA » - Via dei Pellegrini 8-4 - Milano.

In ogni caso, scrivere in modo molto chiaro e completo il proprio indirizzo.

L'abbonamento può essere effettuato in qualsiasi momento; si intende comprensivo delle lezioni pubblicate e dà diritto a ricevere tali lezioni, che saranno inviate con unica spedizione.

Estero: abbonamento al Corso, Lit. 8.500. ($ 15). Numeri singoli Lit. 300 ($ 0,50).

Per i cambi di indirizzo durante lo svolgimento del Corso, unire lire 100, citando sempre il vecchio indirizzo.

Fascicoli singoli arretrati — se disponibili — possono essere ordinati a lire 300 cadauno.

Non si spedisce contrassegno.

Distribuzione alle edicole di tutta Italia: Diffus. Milanese . Via Soperga, 57 - Milano.

Direttore responsabile: Giulio Borgogno.

Autorizzaz. N. 5357 - Tribunale di Milano.

Stampa: Intergrafica S.r.l. - Cologno Monzese.

La Direzione non rivende materiale radio; essa può comunicare, se richiesta, indirizzi di Fabbricanti, Importatori, Grossisti ecc. in grado di fornire il necessario ed ai quali il lettore può rivolgersi direttamente.

Alla corrispondenza con richiesta di informazioni ecc. si prega allegare sempre il **francobollo per la risposta.**

Parte del testo e delle illustrazioni è dovuta alla collaborazione del Bureau of Naval Personnel, nonchè al Dept. of the Army and the Air Force - U.S.A.

A chi può essere utile questo Corso? Anzitutto — stante la sua impostazione — il Corso, basato sull'esposizione in forma a tutti accessibile, della radiotecnica, dai suoi elementi basilari alla evoluzione più recente, rappresenta la forma ideale per tutti coloro che intendono dedicarsi all'elettronica, sia come forma ricreativa sia — soprattutto — per l'acquisizione di una professione specializzata che possa procurare loro una posizione di privilegio in seno alla società odierna.

Anno per anno, la nostra civiltà si indirizza sempre più verso questa meravigliosa, si potrebbe dire fascinosa, elettronica, che nel modo più evidente consente sviluppi impensati, progressi grandiosi e una rapida evoluzione di tutti gli altri rami dello scibile che essa tocca e influenza.

L'industria, tutta l'industria, nel senso più ampio, da quella elettrotecnica a quella meccanica, alla metallurgica, alla chimica ecc., con i suoi laboratori di ricerca e le sue fabbriche richiede, e richiederà sempre più, con un ritmo rapidamente crescente, tecnici specializzati con conoscenza dell'elettronica, tecnici specificatamente elettronici e persino operai e impiegati di ogni ordine e categoria con cognizioni di elettronica.

Si può dire che anche le branche commerciali, quelle dei trasporti e persino quelle amministrative con le recenti introduzioni delle calcolatrici, abbisognano di personale che conosca i principi dell'elettronica, le macchine relative, il loro pieno sfruttamento, la eventuale riparazione ecc. e, quanto più in modo completo, quanto meglio.

Nasce, da una tale situazione, una logica conseguenza: per la scelta di una professione o di un mestiere, per un miglioramento della propria posizione sociale, per l'intrapresa di una libera attività o anche per la sola acquisizione di cognizioni che indubbiamente verranno oltremodo utili, è quanto mai opportuno riflettere se non sia conveniente dedicare un po' di tempo allo studio di questa scienza che ha tra l'altro il pregio di rendersi immediatamente attraente, concreta, accessibile e foriera di moltissime soddisfazioni.

A questo scopo appunto, e con questi intenti, è stato redatto questo Corso.

Non mancano invero altri corsi (specie per corrispondenza) o scuole di radiotecnica, nè mancano (sebbene siano in numero del tutto inadeguato) scuole statali o pareggiate ma la struttura e l'impostazione che caratterizzano queste 156 lezioni sono alquanto particolari, presentando non pochi vantaggi sulle diverse altre forme di cui si è detto.

Anzitutto vogliamo porre in evidenza **il fattore economico.**

Frequentare regolarmente, durante tutto l'anno, una scuola è certo il modo più logico — anche se non il più rapido — per apprendere ma, tralasciando il fatto che rarissimi sono gli Istituti di radiotecnica, è a tutti possibile dedicarsi esclusivamente, e per l'intero anno, allo studio? Noi riteniamo che chi può farlo costituisca oggi assai più l'eccezione che la regola. Ciò significa infatti poter disporre liberamente del proprio tempo senza avere la necessità di un contemporaneo guadagno: il nostro Corso permette a chiunque di studiare a casa propria, nelle ore libere dal lavoro, senza abbandonare o trascurare quest'ultimo. Ciò caratterizza invero anche altri corsi, ma il vantaggio economico diviene notevole ed evidentissimo se si considera che di fronte all'esborso, anche se rateale, di quasi 80.000 lire che i corsi per corrispondenza richiedono, seguendo il nostro Corso la spesa in un anno risulta di poco più di 7500 lire (150 lire alla settimana presso un'edicola) o di 6630 lire totali, con recapito postale, settimanale, delle lezioni a domicilio.

E' superfluo dire che la Modulazione di Frequenza, i transistori, i circuiti stampati, la trasmissione, il telecomando ecc. sono argomenti integrali del Corso e non costituiscono motivo di corsi speciali, aggiunti o particolari.

Le lezioni di questo Corso — a differenza di molte altre — non sono stampate con sistemi di dispensa, a ciclostile, o con sistemi più o meno analoghi, derivanti cioè da un originale battuto a macchina da scrivere; esse sono stampate in uno stabilimento grafico, con chiari caratteri tipografici da cui deriva una assai più agevole lettura e — fattore certamente di non secondaria importanza — un contenuto molto più ampio, corrispondendo una pagina a stampa a tre o quattro pagine di quelle citate. Il lettore avrà, alla fine del Corso, un volume di ben 1248 pagine di grande formato!

Chiunque, indipendentemente dall'età, dalla professione e dalle scuole compiute **può seguire il Corso.** Alle esposizioni teoriche si abbinano numerose, attraenti, istruttive ed utili descrizioni che consentono la realizzazione di ricevitori, amplificatori, strumenti vari e persino di trasmittenti su onde corte.

A questo proposito è sintomatico il fatto che la Direzione non vuole assolutamente assumere la fisionomia di un fornitore o commerciante di materiale radio, rivendendo agli allievi le parti necessarie. Il materiale occorrente l'interessato può acquistarlo dove e come meglio crede e, assai spesso anzi, già ne dispone. Viene così evitato l'acquisto forzoso, caratteristico più o meno di tutti gli altri corsi.

Anche chi è già radiotecnico, anche chi ha seguito o segue altri corsi troverà il massimo tornaconto in questo completo ed aggiornato lavoro. Molte nozioni, è logico, saranno note, altre un po' meno e sarà utile rinfrescarle, e il tutto infine costituirà un manuale di consultazione, prezioso tanto per la teoria esposta quanto per i numerosi schemi, per le tabelle, per i grafici, gli elenchi, i dati, il vocabolario dei termini ecc.

Concludendo, si può affermare che questo **Corso di Radiotecnica** oltre che come insegnamento graduale si presenta come **enciclopedia e rivista assieme** ciò che permette di formare — con modestissima spesa — **il più completo, ricco, utile e pratico volume di radiotecnica di cui sia dato oggigiorno disporre.**

LA TRASMISSIONE e la RICEZIONE RADIO

Come avviene, in pratica, la comunicazione radio? Essa sfrutta — sappiamo — le onde elettromagnetiche come mezzo di collegamento tra i due punti interessati (trasmettitore e ricevitore). Il problema consiste perciò, in sintesi, nel generare l'oscillazione, nell'irradiarla nello spazio, nel captarla — a distanza — dallo spazio stesso, e nel renderla percepibile ai nostri sensi.

Sappiamo anche che possiamo sovrapporre, in certo qual modo, all'oscillazione a frequenza molto alta (onda elettromagnetica) irradiata nell'etere, l'oscillazione a frequenza molto più bassa (onda sonora), così che la prima diventa « portante » e la seconda « modulante »: in questo modo è realizzata la radiofonia o trasmissione per via radio dei suoni. Essa rappresenta però un perfezionamento dell'invenzione in sè in quanto, inizialmente, la comunicazione si basò esclusivamente sull'intelligenza a mezzo dei segnali (punti e linee) dell'alfabeto Morse. E' facile intuire come ciò possa avvenire.

Se l'oscillazione presso la trasmittente, anzichè essere irradiata in continuità, viene interrotta e ripresa secondo il sistema convenzionale di tratti corti (punti) e tratti più lunghi (linee) (il già citato alfabeto Morse, usato nella telegrafia con filo), al posto di ricezione i fenomeni conseguenti alla ricezione stessa seguiranno lo stesso ritmo e sarà facile tradurre il messaggio. Perciò, la prima idea consistette nello sfruttamento dell'onda elettromagnetica in tal senso (Marconi, 1894); l'idea di mantenere costante la irradiazione dell'onda ma di variarne l'ampiezza secondo un andamento conseguente alle diverse frequenze della parola o di altri suoni (*modulazione d'ampiezza*) seguì, nel 1908, ad opera dell'americano R.A. Fessenden. Lo stesso fine può essere raggiunto facendo variare non l'ampiezza ma la frequenza — sempre in relazione alla voce o al suono — e si ha allora la *modulazione di frequenza*. Esistono infine, ulteriori sistemi di modulazione che esamineremo in dettaglio con quelli principali ora accennati nelle lezioni a tali argomenti destinate. Logicamente, il complesso ricevente deve essere sempre predisposto a seconda del sistema usato, onde poter compiere adegautamente l'operazione inversa alla modulazione cioè la demodulazione.

Scopo della presente lezione è un esame sommario della comunicazione radio e degli elementi che concorrono ad attuarla. Incontreremo termini e particolari che analizzeremo con assai maggior dettaglio, tanto da farne oggetto di intere lezioni; tuttavia, l'avere prima, qui, osservato in un quadro generale, oltre che il fenomeno, anche quei mezzi che ne consentono la realizzazione, ci permetterà senza dubbio — sapendo oramai a priori quali sono i fini da raggiungere — di apprendere assai meglio, a partire addirittura dalle lezioni più immediate, tutta l'esposizione relativa al graduale svolgimento della materia.

Come si è già detto, la comunicazione radio nasce in un determinato punto: **trasmettitore**; a mezzo di un sistema — **antenna** — viene irradiata a tutto lo spazio circostante; viene quindi, sempre con un'antenna, captata, per pervenire al punto di ricezione: **ricevitore**. Seguendo questo ordine osserviamo perciò un po' più da vicino i citati elementi fondamentali del sistema.

IL TRASMETTITORE

Un trasmettitore consiste di diverse sezioni, intendendosi per sezione un assieme di organi raggruppati e coordinati allo svolgimento di una data funzione. Così, possiamo osservare in esso anzitutto una sezione che ha il compito di **generare l'oscillazione**: una oscillazione di natura elettromagnetica, e cioè, come abbiamo detto, differente dalle oscillazioni meccaniche che abbiamo osservate alla prima lezione, nel numero di manifestazioni al secondo ossia nella frequenza, che è qui assai più elevata.

L'oscillazione generata è solitamente di debole intensità. Di proposito, ad un oscillatore non viene applicata molta energia per dare luogo all'oscillazione e per mantenerla: lo scopo di una tale precauzione è, in questo caso, quello tendente ad ottenere una stabilità massima della frequenza di oscillazione prescelta. Se si usassero potenze rilevanti nell'oscillatore si verificherebbero fenomeni di riscaldamento (trasformazione di una parte di energia elettrica in energia termica) che, alterando i valori stabiliti, porterebbero a variazioni della frequenza. E' facile intuire che ciò non deve assolutamente verificarsi, sia perchè al posto di ricezione si dovrebbe provvedere per variazioni analoghe al fine di non perdere il collegamento che — come vedremo — basa la sua efficacia su un'indennità di frequenza, sia perchè, dovendo coesistere più trasmettitori, se le loro frequenze non fossero stabili si verificherebbero disturbi reciproci denominati *interferenze*.

Le onde elettromagnetiche prodotte da un oscillatore sono di natura perfettamente idonea a stabilire un collegamento a distanza (**figura 1**); è sufficiente che esse siano opportunamente avviate ad un sistema predisposto per irradiarle nello spazio: l'antenna.

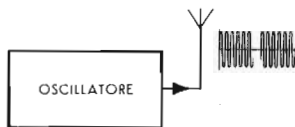



Fig. 1 - Una emittente può essere costituita dal solo oscillatore. Le onde elettromagnetiche prodotte, vengono convogliate ad un'antenna, e irradiate nello spazio

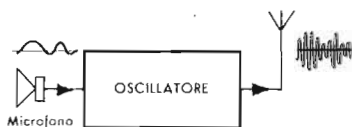



Fig. 2 - Le variazioni di corrente che un microfono genera possono « modulare » l'oscillatore variando in ampiezza le onde prodotte.

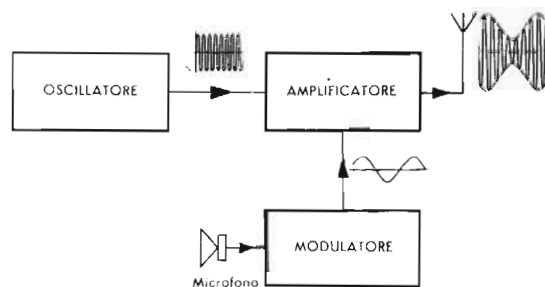



Fig. 3 - Per completare un trasmettitore potremo amplificare sia le correnti del microfono (Modulatore) sia quelle dell'oscillatore (Amplificatore).

Così agendo però, poichè i criteri realizzativi degli oscillatori sono quelli sopra accennati, di debole potenza in giuoco, accade che la possibile distanza utile raggiungibile con l'onda diretta sia eccessivamente ridotta, addirittura esigua, e perciò assolutamente insufficiente ai fini pratici.

Per questo motivo, un'altra sezione del trasmettitore è quella destinata ad **amplificare** — cioè ad accrescere in potenza — l'onda generata dall'oscillatore. Questa amplificazione può essere ottenuta in un solo passaggio o, come assai più generalmente avviene quando la potenza finale da raggiungere è notevole, con aumenti progressivi, in passaggi successivi e graduali. Deve essere caratteristica principale di una tale sezione di amplificazione del trasmettitore il non alterare minimamente la frequenza determinata dalla sezione oscillatrice. Il compito di un amplificatore consiste nel restituire alla sua « uscita » la stessa identica onda ricevuta alla sua « entrata » aumentata semplicemente in intensità.

L'oscillatore, per dare inizio alle oscillazioni e mantenerle — così come avviene per un oscillatore meccanico — abbisogna di un apporto di energia. L'amplificatore del pari, per svolgere la sua funzione (vedremo poi come e perchè) abbisogna di energia. Questa necessità deriva dall'impiego, in essi, di un meraviglioso dispositivo che ha contribuito enormemente allo sviluppo della radio: *la valvola termoionica*. Attualmente si sta sviluppando per gli stessi fini anche *il transistore*, un nuovo organo che con la valvola compete: anch'esso però necessita — se pure in misura minore — di energia.

In entrambi i casi si tratta di energia elettrica ed è perciò evidente che in un complesso trasmittente vi sarà anche una sezione destinata a produrre la necessaria energia elettrica di **alimentazione** (alimentatore) ricavandola, per trasformazione, da energia meccanica (dinamo, alternatori) o chimica (batterie).

Quando il trasmettitore non si deve limitare all'emissione di messaggi telegrafici secondo l'alfabeto Morse, ma deve irradiare voci e suoni, allora — come già sappiamo — occorre modulare l'oscillazione, ossia, in linea di massima, farne variare l'ampiezza (o la frequenza) in relazione a tali voci o suoni; da qui la presenza di una **sezione modulatrice**. Essa sarà formata anzitutto da un organo atto a captare i suoni e a trasformarli in correnti elettriche proporzionali in intensità e frequenza, organo che compie la stessa funzione nelle comuni comunicazioni telefoniche: *il microfono*. Le correnti del microfono — di debole intensità — potrebbero tuttavia, già modulare un trasmettitore (**figura 2**) ma occorre sapere che è necessario disporre di un certo ammontare di energia di tale natura per raggiungere un soddisfacente risultato. Grosso modo, si può dire che l'energia di frequenza microfonica (Bassa Frequenza o audio) occorrente, è pari alla metà dell'energia che si applica come alimentazione all'amplificatore finale della sezione a frequenza elettromagnetica. (Alta Frequenza o radiofrequenza). Anche qui perciò siamo in presenza di amplificazione, che, data la natura della corrente interessata, viene detta *amplificazione di Bassa Frequenza*. Anche qui, per raggiungere la potenza finale richiesta si procede per gradi successivi, o con definizione più propria, a mezzo di molteplici stadi. Col termine di **stadio** — termine che incontreremo assai spesso — possiamo definire **quell'unione di parti che, assieme, svolgono completamente un compito**: così, ad esempio, da quanto abbiamo sin qui appreso, rileveremo che in un trasmettitore le diverse sezioni potranno comportare ognuna uno o più stadi.

Per l'amplificazione di Bassa Frequenza i requisiti sono analoghi a quelli già citati a proposito dell'Alta Frequenza. Il « *segnale* » entrante (e per segnale intendiamo l'onda nelle sue diverse ampiezze e frequenze succedentesi nel tempo) deve presentarsi inalterato nella forma all'uscita dell'amplificatore: deve essere accresciuta solo la potenza.

Logicamente, la sezione amplificatrice di Bassa Frequenza adottando valvole o transistori necessita anch'essa di alimentazione. Questa necessità comporterà la presenza di una seconda sezione di alimentazione o di un adeguato aumento della possibilità di una eventuale sezione unica per l'intero trasmettitore.

L'oscillazione elettromagnetica che il trasmettitore genera, amplifica e modula (**figura 3**), ha nell'antenna il suo punto di partenza per la propagazione nell'etere. L'antenna sarà tanto migliore — e quindi di maggiore rendimento — quanto più in alto potrà essere collocata. Essa è formata, in sintesi, da un conduttore (filo, barra, tubo ecc. di metallo) la cui lunghezza è in relazione alla frequenza (lunghezza d'onda) che deve essere irradiata; infatti l'antenna deve essere « *accordata* » — deve cioè entrare in risonanza — per la frequenza

Fig. 4 - Il più semplice ricevitore è quello che svolge la sola funzione di rivelazione dell'energia captata a mezzo dell'antenna.

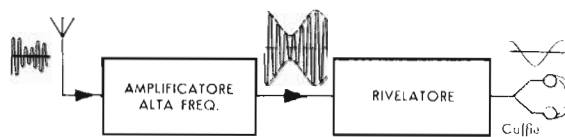



Fig. 5 - L'aggiunta di un amplificatore ad Alta Frequenza — prima cioè della rivelazione — aumenta la sensibilità, per cui nella cuffia è possibile udire anche stazioni deboli e lontane grazie all'amplificazione dei loro segnali.

Fig. 6 - Un ulteriore perfezionamento consiste nella amplificazione a Bassa Frequenza; dopo la rivelazione, le oscillazioni a frequenza fonica, amplificate, possono allora azionare un altoparlante in luogo della semplice cuffia.

prescelta di lavoro perchè, come abbiamo appreso già nella prima lezione (pag. 3), il migliore rendimento (minore dispendio di energia) in questi casi si verifica sempre per la frequenza propria di risonanza.

L'antenna va calcolata pertanto preventivamente in funzione della lunghezza d'onda di lavoro: ove, come accade in diversi trasmettitori, sia necessario impiegare a seconda delle contingenze più di una lunghezza d'onda, si avranno dispositivi appositi atti a modificare se non fisicamente, almeno elettricamente, le caratteristiche dell'antenna per porla sempre in condizioni di assorbire — e quindi irradiare — il massimo dell'energia che il trasmettitore può fornirle.

Tale energia le viene inviata — potendo l'antenna essere collocata anche ad una certa distanza dal trasmettitore vero e proprio — a mezzo di conduttori detti « *linee di trasmissione* ». Le linee di trasmissione non devono irradiare energia, così come una tubazione d'acqua non deve disperdere l'acqua lungo il percorso.

Abbiamo analizzato, sino a questo punto, per grandi linee, il trasmettitore: vediamo ora, seguendo lo stesso criterio, il ricevitore.

IL RICEVITORE

Le funzioni ed il comportamento di un ricevitore risultano, ovviamente, inverse a quelle di un trasmettitore. Quest'ultimo deve provvedere alla trasformazione di un segnale sonoro e all'irradiazione dell'onda elettromagnetica: il ricevitore deve captare l'onda irradiata dal trasmettitore e provvedere alla trasformazione dell'onda stessa in segnale sonoro.

Così come nel trasmettitore il mezzo per immettere l'onda nell'etere è un'antenna, nel ricevitore il mezzo per captarla, cioè prenderla, dall'etere è pure un'antenna. Già sappiamo che il trasmettitore invia le sue onde in tutte le direzioni: esso forma attorno a sè un « *campo* » (vedi pag. 6). L'antenna ricevente si trova in tale campo e se si adotta l'accorgimento di realizzarla in modo che risuoni sulla frequenza che interessa (quella adottata dal trasmettitore) si ottiene il suo redimento massimo, il che porta alla possibilità di disporre del segnale più intenso, compatibilmente con l'entità secondo la quale esso è presente in quel punto (intensità di campo). Logicamente, maggiore è la distanza del trasmettitore, minore è l'intensità di campo. Poichè si è in presenza di energie minime, il concetto costruttivo che deve guidare la realizzazione di una antenna deve essere quello della ricerca del più alto rendimento, che si raggiunge — come già abbiamo detto — con la risonanza, cui però va accoppiata la migliore dislocazione possibile (altezza dal suolo e distanza da masse in comunicazione con esso) e l'isolamento massimo (minori perdite per dispersione). Questi criteri sono da porsi però in relazione al tipo di ricevitore usato; essi valgono anzitutto come concetto teorico ed acquistano la loro maggiore importanza allorchè il ricevitore è del tipo più semplice, senza stadi di amplificazione in Alta o in Bassa Frequenza perchè — occorre subito dirlo — anche nel ricevitore, così come si è visto nei riguardi del trasmettitore, si può usufruire — e si usufruisce correntemente — della amplificazione.

Captato il massimo di energia a radiofrequenza seguendo l'accorgimento dell'impiego di un'antenna risuonante sulla frequenza dell'emittente, occorre sia predisposta una funzione inversa a quella della modulazione: **la demodulazione**, più correntemente detta **rivelazione**. In questo importantissimo e vitale stadio dell'apparecchio si può dire si esplichi ciò che è la vera e propria ricezione. Dall'onda portante si « estrae » il segnale della modulazione: l'onda elettromagnetica, che ha consentito il collegamento attraverso l'etere, più non interessa dopo tale operazione, perchè è solo la Bassa Frequenza che può tramutarsi in onde sonore mediante dispositivi (inversi rispetto al microfono) a noi ben noti: l'auricolare telefonico, la cuffia e l'altoparlante.

Così come il più semplice trasmettitore può essere costituito dal solo stadio d'oscillazione, il più semplice ricevitore può essere rappresentato dal solo stadio rivelatore (**figura 4**). Impareremo infatti — nella lezione che segue — a costruire ricevitori molto semplici, svolgenti semplicemente ed unicamente la funzione rivelatrice e, ciononostante, praticamente atti ad una buona ricezione di emittenti locali di radiodiffusione.

Poichè è possibile accrescere sia l'entità del segnale captato dall'antenna, quando questo cioè è ancora costituito dalla radiofrequenza (**figura 5**), sia l'entità del segnale a Bassa Frequenza — che è quello presente dopo la demodulazione — nei comuni radioricevitori troviamo stadi di amplificazione in entrambe le sezioni (**figura 6**).

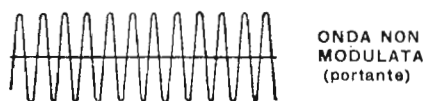



Fig. 7 - Oscillazioni ad A.F. non modulate: ampiezza costante.

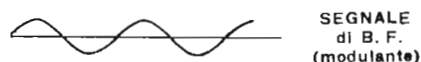



Fig. 8 - Forma d'onda di segnale modulante a frequenza fonica.

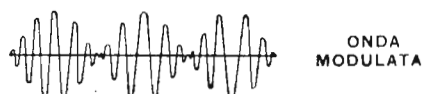



Fig. 9 - L'ampiezza della portante è variata dalla modulazione.

Fig. 10 - Rappresentazione della rivelazione o rettificazione di un'onda non modulata. Le semi-onde negative vengono soppresse completamente.

Fig. 11 - La rivelazione di una portante modulata dà una serie di semionde, tutte positive, ma di ampiezza variabile conformemente alla modulazione.

Con l'amplificazione in Alta Frequenza, praticamente si aumenta la sensibilità del ricevitore ossia si rendono utili anche quei segnali che, per la distanza della trasmittente o la insufficiente potenza irradiata dalla stessa, o ancora per altre cause, non sarebbero di entità adeguata ad un ascolto dopo, ben inteso, la rivelazione. Con l'amplificazione a Bassa Frequenza si fa sì che l'accresciuta energia possa azionare, anzichè un semplice auricolare o i due auricolari di una cuffia, quell'assai più pratico dispositivo (che necessita appunto di maggiore energia per agire) che è l'altoparlante.

Pertanto, se nel ricevitore incorporiamo stadi di amplificazione, ci troviamo anche qui — come avviene nei riguardi del trasmettitore — nella necessità di fornire una certa energia elettrica di alimentazione agli stadi interessati affinchè valvole o transistori possano svolgere il loro compito: avremo una sezione di alimentazione che può essere costituita da batterie o far capo, come è noto, alla rete luce della corrente casalinga.

Occorre ora, a questo proposito, mettere in evidenza un particolare. Abbiamo visto che nel trasmettitore tutti gli stadi richiedono un'alimentazione, ivi compreso l'oscillatore, generatore della radiofrequenza: nel ricevitore invece, lo stadio che può in certo qual modo essere contrapposto all'oscillatore, il rivelatore, non richiede, per agire, alcuna fonte di energia suppletiva. Esso può funzionare con la sola energia captata dall'etere. Per questo motivo possono essere realizzati radioricevitori — quelli che si limitano alla rivelazione — che non abbisognano di essere collegati alla rete-luce nè incorporano batterie: sono, in altre parole, apparecchi che non « consumano » nulla, tranne l'energia captata dall'antenna, fornita dal trasmettitore. Nello stadio rivelatore può non esservi nè una valvola, nè un transistore, bensì un solo organo che potremmo dire passivo e che si limita alla trasformazione dell'onda elettromagnetica senza apportare amplificazione: tale organo è denominato *diodo* (due elementi) e nei primi ricevitori era rappresentato da un cristallo (ad esempio, solfuro di piombo - galena) e da un dispositivo di contatto localizzato su di esso (baffo di gatto).

Il diodo rivelatore presenta la caratteristica di consentire il passaggio della corrente che in esso viene avviata, praticamente in un solo senso: si può in certo qual modo dire che esso è « polarizzato » cioè ha un lato positivo ed uno negativo. Nel senso di conduzione l'eventuale corrente può fluire o scorrere (immaginiamo ancora la corrente come un flusso d'acqua) facilmente: il diodo non rappresenta un ostacolo, ossia offre scarsa resistenza. A scorrere in senso opposto invece, la corrente trova difficoltà: il diodo — per tale senso di conduzione — offre alta resistenza. Tanto maggiore è la differenza di resistenza nei due sensi, tanto più efficace è il diodo per i nostri fini. Vediamo ora come può essere sfruttato il fenomeno suddetto per demodulare un'onda in arrivo.

L'onda, come già sappiamo, (vedi pag. 3) è costituita da due semionde, ognuna presentante una cresta o picco che ne determina l'ampiezza massima rispetto ad un punto di livello zero. Un'oscillazione, costante, non modulata, (**figura 7**) può essere raffigurata da una successione continua di onde, tutte di pari ampiezza.

Con la sovrapposizione del segnale modulante (**figura 8**) l'ampiezza viene fatta variare: (**figura 9**) (modulazione di ampiezza). E' appunto questa l'onda che viene irradiata da un trasmettitore di radiodiffusione e che quindi si presenta, dopo il suo rapidissimo viaggio nell'etere, al dispositivo di rivelazione del ricevitore. Quest'ultimo, come abbiamo testè detto, consente il passaggio in una sola direzione, perciò una sola delle due semionde sarà quella che troverà il senso di conduzione favorevole (in quanto l'altra è di polarità opposta) e riuscirà a passare attraverso il diodo. All'uscita del diodo sarà dimezzata così come si osserva alle **figure 10** e **11**: una tale forma d'onda viene detta anche « *rettificata* ». In essa è sempre presente, nella sua intera percentuale rispetto alla semionda residua, la variazione dovuta alla modulazione. Se si provvede ad eliminare (sia ostacolandone il passaggio verso i susseguenti stadi, sia favorendone la deviazione verso un percorso o circuito di annullamento) l'Alta Frequenza residua, resterà una corrente che avrà le variazioni dovute alla modulazione, una corrente cioè di sola Bassa Frequenza (**figura 12**), capace di tramutarsi in suono con l'ausilio del riproduttore apposito (cuffia ecc.).

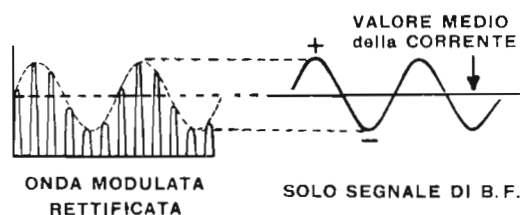



Fig. 12 - Analizzando l'onda modulata rettificata di cui alla figura 11, si osserva che le punte o « picchi » delle semionde positive risultanti dalla rivelazione individuano un'onda a frequenza fonica la cui ampiezza oscilla intorno ad un valore medio costante. In tal modo si manifesta una corrente alternata in tutto analoga a quella di modulazione con la quale si è variata l'ampiezza della portante.

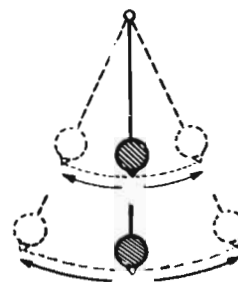



Fig. 13 - Modificando le caratteristiche dei componenti un generatore di oscillazioni si varia la frequenza di oscillazione; così, in un pendolo, l'aumento o la diminuzione della lunghezza dell'asta determina oscillazioni più o meno ampie, (più o meno lente = frequenza minore o maggiore).

I PRINCIPALI COMPONENTI

A formare gli stadi di un trasmettitore e di un ricevitore concorrono organi diversi: ne presenteremo ora alcuni con un intento essenzialmente pratico. Il lettore imparerà a conoscerli, a individuarli, a differenziarli e — nella lezione che segue — addirittura ad impiegarli anche se nella loro intima essenza li ritroverà descritti con assai maggiore rigore tecnico e scientifico, in apposite lezioni successive.

Così facendo, chi segue il Corso potrà subito familiarizzare con quei componenti — parti staccate — che, tra loro connessi, formano uno stadio o svolgono comunque un'azione combinata. Seguendo questo criterio sarà possibile pervenire quasi subito a risultati concreti, vale a dire al montaggio di semplici radioricevitori; ciò contribuirà a rendere meno arida la materia, in altre parole più allettante lo studio, non solo, ma ci si accorgerà poi anche che le più analitiche lezioni future saranno facilmente seguite perchè i soggetti saranno organi e fenomeni che già in pratica si avrà avuto modo di incontrare.

Parleremo qui di organi essenzialmente destinati ai radioricevitori anche se essi, assai spesso, fanno parte di stadi relativi a sezioni di trasmettitori. Una differenza tra i due impieghi porta solo ad una differenziazione — in linea di massima — nelle dimensioni. Nei trasmettitori si ha a che fare quasi ovunque con correnti, ossia con energia, di assai maggiore entità di quanta non se ne incontri in alcun ricevitore: le parti di un trasmettitore saranno perciò dimensionate di conseguenza e si presenteranno, logicamente, con maggiori dimensioni e ingombri.

ANTENNA e CIRCUITO RISONANTE

L'antenna, invero, solo in alcuni casi fa parte del ricevitore vero e proprio. Tuttavia, sia perchè la tendenza ad incorporarla in esso si generalizza, sia perchè con gli apparecchi più semplici l'antenna giuoca un ruolo di rilevante importanza, è opportuno che siano esposte qui alcune nozioni che la riguardano.

Il massimo di energia a radiofrequenza viene captato da un'antenna per la frequenza propria di risonanza: tale frequenza può essere preventivamente calcolata (con approssimazione) e ne consegue che un'antenna può essere costruita secondo determinate dimensioni (lunghezza) onde ottenere il migliore rendimento su di una data lunghezza d'onda. Sappiamo però che, in pratica, un ricevitore non viene mai limitato alla ricezione di una sola frequenza: esso copre in realtà un certo campo o zona o gamma di frequenza: sarebbe necessario allora ad ogni variazione di stazione da ricevere far corrispondere una variazione nella lunghezza dell'antenna. Questa procedura, tutt'altro che pratica, specialmente per le antenne esterne, può fortunatamente essere evitata. Per evitarla, pur senza modificare le dimensioni fisiche dell'antenna, se ne modificano le caratteristiche elettriche: il risultato è press'a poco pari e ad esso si perviene con relativa facilità, come ora vedremo. Tutto questo fa sì che, dovendo erigere un'antenna, non ci si debba preoccupare molto per un calcolo nonchè per le sue caratteristiche elettriche intrinseche: sarà sempre possibile portarla in risonanza per la frequenza interessata.

Un dispositivo meccanico che oscilli (vedi pag. 3), quale un pendolo o un diapason, ha nelle sue caratteristiche fisiche (lunghezza, massa, peso ecc.) gli elementi determinanti la sua frequenza di oscillazione o di risonanza: modificando l'una o l'altra di dette caratteristiche viene modificata la frequenza di risonanza (**figura 13**). Sappiamo che, portandoci verso frequenze molto più elevate di quelle ora citate, non è più possibile generarle con dispositivi di natura meccanica in quanto si entra nel campo dei fenomeni elettromagnetici. La generazione di oscillazioni elettromagnetiche è opera del passaggio di correnti elettriche in determinati percorsi — detti circuiti — presentanti caratteristiche elettriche opportune. Queste caratteristiche, che per analogia possiamo paragonare alle caratteristiche fisiche dell'oscillatore meccanico, sono: **l'induttanza e la capacità.**

Modificando l'induttanza o la capacità di un circuito oscillante modifichiamo la sua frequenza di risonanza, tanto se esso è attivo in maniera diretta per irradiare (oscillatore) quanto se è semplicemente passivo e cioè predisposto per risuonare in virtù di energia proveniente da un oscillatore. La variazione di induttanza e di capacità ha quindi un effetto analogo alla variazione delle dimensioni fisiche di un pendolo o di un diapason.

Un'antenna non è altro che un circuito elettrico

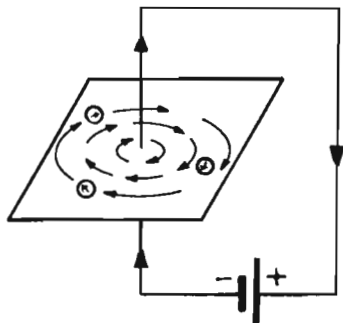



Fig. 14 - La corrente (qui erogata dalla pila), percorrendo un conduttore determina intorno ad esso un campo costituito da linee di forza magnetica.

Fig. 15 - Un conduttore avvolto a spire affiancate determina un campo magnetico più intenso in quanto i singoli campi delle varie spire si sommano integrandosi a vicenda.

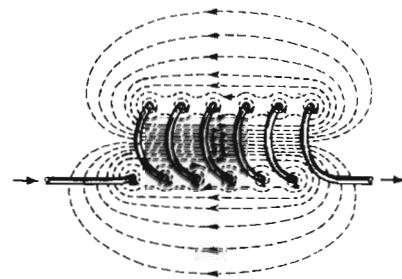



Fig. 16 - Le linee di forza hanno la loro densità massima all'interno di una bobina. Per aumentare la densità si può introdurre all'interno della bobina un nucleo di materiale che meglio dell'aria conduca il magnetismo.

presentante una propria induttanza ed una propria capacità: è per questo fatto che essa entra in risonanza ad una determinata frequenza di oscillazione elettromagnetica che è la risultante della combinazione di valori dei due elementi. Ora, è opportuno sapere che induttanza e capacità possono essere create, diremo così, artificialmente. In altre parole, in radiotecnica si dispone di organi rappresentanti un determinato valore di induttanza e di organi rappresentanti un determinato valore di capacità: essi sono rispettivamente **gli induttori** ed **i condensatori**.

Aggiungendo un induttore (questo termine è poco usato e si suol dire, in suo luogo « induttanza », termine che viene a indicare così anche l'organo oltre che la funzione) o un condensatore al circuito di un'antenna, possiamo variarne ampiamente l'induttanza e la capacità. Ove si aggiunga poi che i due citati organi sono solitamente costruiti in modo da presentare essi stessi un valore variabile con facilità, a scelta, si comprenderà che un'antenna può essere portata a risonanza su un grande numero di lunghezze d'onda — o per meglio dire — su una intera gamma, offrendo sempre il vantaggio della risonanza, ossia il maggiore rendimento per la frequenza in quel momento accordata.

Possiamo perciò concludere che, mediante induttanza oppure con capacità aggiuntiva o mediante entrambe, è dato di portare a risonanza su di una frequenza voluta un'antenna qualsiasi. Esaminiamo perciò — sempre da quel punto di vista essenzialmente pratico che ci consente di familiarizzare con essi — questi due importantissimi organi che, come vedremo in seguito, svolgono anche numerosi altri compiti nei complessi circuiti delle apparecchiature elettroniche.

INDUTTANZA

L'esame sommario che faremo è limitato per ora, ben inteso, a ciò che riguarda l'impiego di questo componente nei più semplici ricevitori radio.

Tra i conduttori di elettricità si può stabilire una graduatoria secondo la loro attitudine a condurre: in essa figurano con buone caratteristiche i metalli; tra i metalli, l'argento e il rame si dimostrano conduttori ottimi (vedi pag. 28).

Pertanto, se vogliamo far passare la corrente in modo continuo in un dato percorso desiderando incontrare nello stesso tempo la minore perdita possibile di tale corrente, (perdita che consiste in una trasformazione in calore), adotteremo un conduttore metallico, ad esempio rame: per comodità di impiego e maneggevolezza potremo ricorrere infine al rame sotto forma di filo che appunto a questo scopo viene prodotto dall'industria nei diversi tipi e diametri necessari alle varie esigenze. Per i motivi sopraddetti un'antenna, ad esempio — elemento che deve condurre la corrente tanto in trasmissione che in ricezione — è sempre realizzata con un buon conduttore (rame o bronzo) sotto forma di filo o di treccia.

Quando la corrente percorre un conduttore, anche se ottimo come tale, attorno al conduttore stesso si formano però delle linee magnetiche circolari costituenti un campo magnetico (**figura 14**). Se la corrente diventa più intensa, più intenso diventa il campo magnetico; è da notare subito che il campo magnetico oppone una certa resistenza alle « variazioni » della corrente.

Ove queste variazioni esistano, così come è nel caso delle correnti a radiofrequenza che variano secondo una frequenza molto elevata, un conduttore da esse percorso da luogo ad una opposizione alla corrente che lo percorre. Si dice allora che il conduttore, o il circuito in cui tale fenomeno di opposizione alle variazioni della corrente si verifica, **presenta una iduttanza o auto-induttanza**. L'induttanza, opponendosi alle variazioni di corrente, fa sì che la corrente stessa resti ritardata rispetto alla tensione. Nel campo magnetico formantesi si immagazzina, per questo fatto, durante mezzo ciclo, dell'energia che durante il mezzo ciclo seguente (opposto di polarità) viene restituita.

Non è da credere che una tale caratteristica sia a carattere negativo: essa viene anzi frequentemente sfruttata per ottenere volute risonanze di circuiti elettrici in quanto la risonanza — come abbiamo già detto — è la risultante dell'induttanza e della capacità.

L'autoinduzione di un conduttore rettilineo è molto piccola. Se è necessario accrescerla si può farlo disponendo il conduttore o filo a spire affiancate e avvolgendone un certo numero. In questo caso le linee di forza magnetica che sono attorno al filo di una spira agiscono anche sul filo delle spire vicine, contribuendo ad un aumento generale dell'induttanza (**figura 15**). Diremo anzi, che l'induttanza cresce col quadrato del numero di spire; cresce maggiormente quanto più vicine sono le

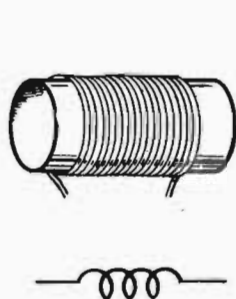



Fig. 17 - Bobina costituita dall'avvolgimento di un conduttore isolato su un supporto isolante e relativo simbolo schematico.

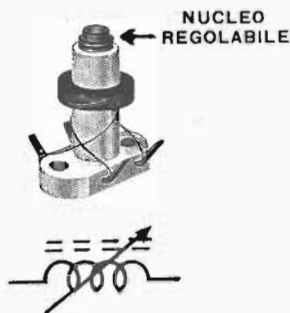
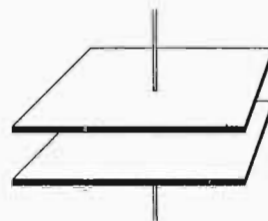



Fig. 18 - Bobina con nucleo ferromagnetico regolabile a vite: tale regolazione ne varia l'induttanza.

Fig. 19 - Bobina del tipo detto « a nido d'ape », con nucleo regolabile e supporto per il montaggio.

Fig. 20 - Due lamine metalliche (armature), affacciate ed isolate tra loro (dal dielettrico), formano un condensatore.

spire tra loro e quanto maggiore è il loro diametro. Nella nostra pratica corrente, le induttanze così realizzate vengono chiamate « bobine di induttanza » o più semplicemente « bobine ».

All'interno delle spire, ossia della bobina, passa l'intero flusso delle linee magnetiche (**figura 16**); è possibile agevolare questo passaggio, accrescendo in tal modo l'efficacia della bobina, ponendo in tal punto del materiale (come nucleo) che meglio dell'aria si lasci attraversare dal flusso magnetico. La scelta di questo materiale dipende dalla frequenza della corrente: così, differenziantisi sia per la forma che per il materiale costituente il nucleo avremo bobine per l'Alta Frequenza e bobine per Bassa Frequenza.

Le **figure 17, 18** e **19** riproducono alcuni tipi di bobine tra i più correnti.

Variando la posizione del nucleo (pratica spesso seguita per le bobine di Alta Frequenza, tanto che il nucleo stesso viene filettato, sì da essere avvitato o svitato dal supporto del filo) si può far variare il valore dell'induttanza senza dover modificare il numero di spire. All'introduzione completa del nucleo corrisponderà il valore massimo di induttanza. Può però anche verificarsi il contrario se il nucleo anzichè essere composto da un materiale che agevola il flusso senza dar luogo a perdite (si adottano materiali appositi costituiti da un impasto di polvere di ferro e polvere aglomerante, isolante) è formato da semplice metallo (esempio ottone, argento, alluminio) che trasforma il flusso in energia termica riscaldandosi per il suo passaggio. In tal caso l'induttanza, anzichè aumentare con l'introduzione del nucleo, diminuisce; diminuisce anche il rendimento.

CAPACITA'

L'altro elmento che è parte attiva, in unione all'induttanza, di un circuito oscillante è la capacità, realizzata quando occorre, sotto forma di condensatore (a valore fisso o a valore variabile).

Vi è poi un terzo elemento — come vedremo — nei circuiti, elemento passivo, denominato resistenza. Pertanto i tre componenti basilari di un circuito elettronico sono: l'induttanza, la resistenza e la capacità.

L'energia elettromagnetica — l'onda radio — viene trasmessa attraverso lo spazio, alla velocità della luce, mediante l'azione simultanea di due campi — come abbiamo già accennato alla nostra prima lezione — quello magnetico e quello elettrico. Mentre l'induttanza si riferisce esclusivamente al campo magnetico in quanto la corrente che scorre in un conduttore crea intorno ad esso un campo magnetico — la capacità si riferisce esclusivamente al campo elettrico, campo che si produce a causa della tensione.

Se si collegano due pezzi di filo ai poli opposti di una batteria (generatore di corrente elettrica e pertanto di tensione), tenendoli ad una certa distanza, tra di essi si produce un campo elettrico: avremo realizzato in tal modo un semplicissimo condensatore. Un condensatore consiste infatti di due conduttori — armature — separate da un materiale isolante: dielettrico (**figura 20**). Tale materiale può essere aria (come nel caso citato), vetro, mica, carta paraffinata, olio, ossido, o altro. Quando alle due armature viene applicata una differenza di potenziale, tra di esse si produce un campo elettrico che ha sede nel dielettrico (**figura 21**). Così agendo il condensatore si carica.

Il condensatore viene, a volte, definito correntemente anche col termine di « capacità ». Il suo compito consiste nell'immagazzinare l'elettricità sotto forma di un campo elettrico: dato ciò, il termine di capacità risulta appropriato.

Allontanata la sorgente di tensione, il condensatore, carico, può restare tale per molto tempo. Se però, le sue armature vengono poste in contatto tra loro a mezzo di un conduttore, su tale conduttore si effettua la scarica o restituzione di energia da parte del condensatore.

Un'induttanza, come abbiamo visto, immagazzina anch'essa energia nel suo campo magnetico. Se noi applichiamo un'induttanza ai capi di un condensatore carico, quest'ultimo si scaricherà sulla prima. Poichè però, con l'induttanza si verifica il ritardo accennato (detto sfasamento), l'energia avrà tempo di presentarsi nuovamente ai capi del condensatore che, risultando scarico, si caricherà nuovamente. Il ciclo di queste scariche e cariche reciproche continuerà sino a tanto che le perdite (inevitabili in ogni circuito) avranno dissipato sotto forma di calore tutta l'energia. Il numero di volte in cui, in un secondo, questo reciproco scambio di cariche si verifica viene detto frequenza naturale o «frequenza di risonanza» del circuito e dipende evidentemente dal valore dei componenti impiegati.

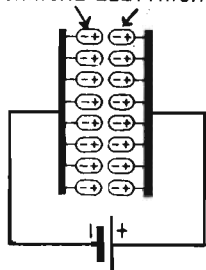



Fig. 21 - Applicando alle lamine di un condensatore una d. d. p. si determina la presenza di cariche elettriche nello spazio interposto.

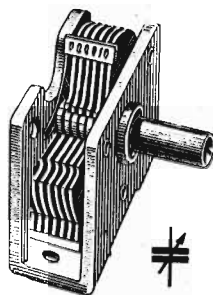



Fig. 22 - Condensatore variabile mediante la rotazione del perno, solidale con le armature mobili.

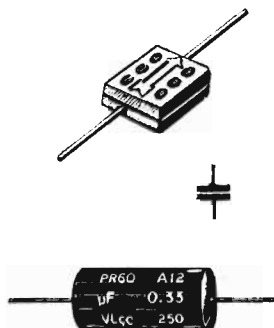



Fig. 23 - Condensatori fissi: a dielettrico mica (in alto) ed a dielettrico carta (in basso).

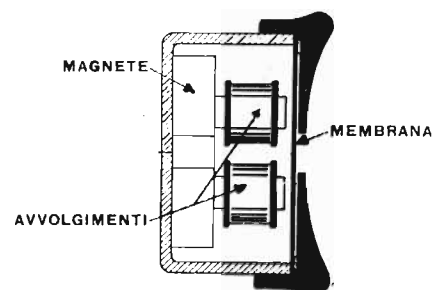



Fig. 24 - Veduta in sezione di una cuffia o riproduttore telefonico: sono visibili i vari organi, tra cui la membrana che, vibrando, trasforma in suono le oscillazioni elettriche.

Se si provvede a fornire opportunamente energia in continuità onde supplire a quella dissipata, l'azione di oscillazione suddetta continua indefinitamente.

Crediamo possa risultare chiaro, ora, perchè modificando il valore dell'induttanza, o quello della capacità, si può far variare la frequenza di risonanza.

La variazione di capacità di un condensatore si ottiene agevolmente. E' sufficiente diminuire l'area delle armature e, per raggiungere questo risultato nella pratica, un'armatura rimane fissa mentre l'altra è resa mobile; quest'ultima infine, se collegata meccanicamente ad un perno di comando, può presentarsi nei rispetti dell'altra, in tutte le posizioni che sono conseguenti alla rotazione (mediante apposito bottone o manopola) dell'albero stesso, dando luogo a tutti i valori di capacità, dal minimo al massimo consentito dalle superfici e dalle distanze tra di esse adottate. Diremo ancora che, se per ottenere una data capacità, le armature da realizzare risultassero di dimensioni eccessivamente grandi e quindi il condensatore di poco pratico impiego, si possono — come avviene sempre — abbinare più armatura di minori dimensioni, fisse, e rispettivamente mobili, pervenendo allo stesso risultato in quanto l'area affacciata risulti eguale nei due casi.

Le **figure 22** e **23** illustrano alcuni tra i tipi di condensatori, fissi e variabili, che trovano corrente impiego nelle apparecchiature radio.

IL RIPRODUTTORE

Il segnale che ha attraversato il diodo demodulatore, e dal quale è stata eliminata la residua Alta Frequenza, rappresenta la sola modulazione, vale a dire le variazioni elettriche corrispondenti ai diversi suoni captati dal microfono. Disporremo, in altre parole, di tensioni (di varia ampiezza) a frequenza pari a quella del suono che le ha generate (Bassa Frequenza). In quanto oscillazioni elettriche, noi non possiamo udirle: occorre allora ritrasformarle in oscillazioni di natura meccanica (suoni) che il nostro orecchio è invece in grado di percepire. Provvede a ciò un organo che, genericamente, definiremo « riproduttore ». Ne analizziamo uno tra i più comuni, illustrato a **figura 24.**

E' nota a tutti la più evidente manifestazione del campo magnetico: l'attrazione che esso esercita sul ferro. Abbiamo testè visto che se una corrente percorre un conduttore o, meglio ancora, una bobina, si crea un campo magnetico che è in diretto rapporto con l'intensità della corrente. Pertanto, se la corrente varia — anche molto spesso e con notevole entità — del pari varia il campo magnetico. Stante questa premessa, è facile intuire che una laminetta di acciaio collocata in prossimità di un tale campo magnetico in maniera da subirne l'influsso, predisposta in modo — data una certa elasticità — da poter vibrare, effettuerà dei movimenti (oscillazioni) di avvicinamento (per attrazione) e di allontanamento (per elasticità) nei riguardi della bobina (e, meglio ancora, del suo nucleo) sede del campo. Questi movimenti rispecchieranno fedelmente le variazioni di intensità e di frequenza della corrente circolante nell'avvolgimento: se la corrente in questione è quella ottenuta dalla demodulazione, la Bassa Frequenza darà luogo — mediante le vibrazioni della lamina — ai suoni originali della trasmissione.

Un dispositivo così realizzato prende il nome di riproduttore magnetico. Costruito secondo modeste dimensioni (da avvicinare all'orecchio) esso è precisamente l'auricolare del comune telefono. Abbinando due riproduttori magnetici in maniera da poterli mantenere comodamente uno per orecchio, si ha la « cuffia ». Realizzando il riproduttore con organi di maggiori dimensioni ed applicando alla lamina vibrante un cono di carta, si ottiene un « altoparlante elettromagnetico », una volta molto in uso, ma oggi praticamente abbandonato e sostituito da altri tipi che, pur basandosi anch'essi sugli effetti del magnetismo, consentono soprattutto una riproduzione di maggiore fedeltà (suoni riprodotti più corrispondenti ai suoni originali). Vedremo tutto ciò ampiamente in una lezione dedicata esclusivamente agli altoparlanti.

Naturalmente, per il funzionamento di un altoparlante, data la maggiore massa in movimento, occorre maggiore energia di quella necessaria ad una cuffia. Il segnale disponibile dopo la rivelazione — che è sempre di modesta entità — non è in grado di far agire con sufficiente efficacia la membrana di un altoparlante. Occorre amplificarlo. I semplicissimi apparecchi che descriviamo nella lezione che segue si limitano alla rivelazione e consentono l'ascolto solo a mezzo di cuffia: sarà facile far seguire ad essi uno o più stadi di amplificazione B.F. così come insegneremo, dopo aver esposto il principio di funzionamento dell'amplificazione stessa.

RADIORICEVITORI SEMPLICI

Chi ha sin qui seguito con attenzione le lezioni che precedono e, in particolare l'ultima, è in grado di accingersi alla costruzione di semplicissimi ricevitori radio che presentiamo essenzialmente per dar modo di familiarizzare — come abbiamo già detto — con gli organi che li compongono e con i fenomeni che nei circuiti si svolgono.

Per presentare i suddetti apparecchi e per esaminare, progettare e studiare in genere un circuito, non è strettamente indispensabile attuare sempre e subito il circuito stesso; è invece possibile — come certo molti sanno — presentare sotto forma grafica quel circuito o quell'assieme di circuiti che sotto tale aspetto prendono allora il nome di « schema ».

E' necessario quindi, innanzi tutto, che di questa elaborazione del concetto di schema, dell'importanza e della grande utilità dello stesso sia ben conscio il lettore perchè è appunto lavorando sugli schemi e con gli schemi che egli potrà sviluppare nuovi progetti, ricercare guasti, studiare modifiche ecc.

DISEGNO di SCHEMI

Come ogni realizzazione di carattere tecnico, sia essa architettonica, sia decorativa, elettrica o elettronica, un dispositivo deve poter essere disegnato allo scopo di studiarne il funzionamento in fase di progetto, di perfezionarlo in fase di realizzazione e, per ultimo, di ripararlo in caso di guasto.

Poichè i componenti usati in elettronica hanno — come già si è detto — aspetti, forme e dimensioni conformi ai vari impieghi, sarebbe praticamente impossibile disegnare il circuito di un apparecchio radio o di un trasmettitore, o di un televisore, disegnando i vari componenti nella loro forma effettiva, sia perchè ne deriverebbe una grave insufficienza a causa della complessità di vari organi, sia perchè una simile procedura sarebbe troppo laboriosa.

Per ovviare a tali inconvenienti, sono stati stabiliti dei segni convenzionali, ognuno dei quali ha un significato vero e proprio ed inconfondibile con altri; tali segni sono stati scelti in maniera da rendere nel miglior modo l'idea di ciò che rappresentano, e adottati universalmente da tutti i paesi civili per divulgare la scienza elettronica e le sue innumerevoli applicazioni.

La tecnica del disegno di schema consta di due sistemi essenziali, ognuno dei quali ha uno scopo ben determinato: gli schemi funzionali o **a blocchi** e i diagrammi schematici o **schemi elettrici**.

I primi raggruppano, con un segno convenzionale, vari organi costituenti un dispositivo, e, nel caso di apparecchiature complesse formate da sezioni che compiono diverse funzioni, le stesse vengono rappresentate funzionalmente, ossia in modo che si possa seguirne il funzionamento nell'ordine progressivo (vedi figure da 1 a 6 - Lezione 7ª).

I secondi invece completano i primi aggiungendo tutti i dettagli omessi, ossia specificando il compito ed il valore di ogni singolo componente, purchè si tratti di parti che hanno importanza dal punto di vista elettronico e non meccanico. In altre parole, negli schemi elettrici vengono raffigurati tutti i componenti che portano corrente, siano esse correnti deboli o forti, e tutti quelli che portano tensioni, mentre vengono omesse quelle parti che compiono funzioni esclusivamente meccaniche.

Negli schemi non si tiene alcun conto della posizione che i vari organi hanno l'uno rispetto all'altro nella realizzazione dell'apparecchio, bensì essi vengono tracciati in modo tale che il tecnico che li osserva, e che sia in grado di interpretarli, possa seguire il percorso dei vari collegamenti, comprendere il funzionamento ed il compito assegnato ai vari organi, constatando tali dati in pratica nel caso che possa osservare contemporaneamente la realizzazione; se ciò non è possibile però, egli — a mezzo dello schema elettrico — può egualmente analizzare l'apparecchio in ogni suo particolare.

Come è facilmente comprensibile, i conduttori vengono rappresentati con tratti continui il cui spessore, nei confronti degli altri, può anche avere un significato. A volte infatti, si usa un tratto di spessore maggiore per raffigurare la massa, ossia il telaio dell'apparecchio, al quale convergono molti collegamenti comuni, negativi o positivi, a seconda dei casi.

Il fatto che un collegamento di uno schema sia diretto verso l'alto o verso il basso, a destra o a sinistra, o comunque in qualsiasi direzione, non ha alcun significato agli effetti pratici, in quanto se una corrente deve passare attraverso un conduttore, essa passa qualunque sia la posizione del conduttore; la direzione dei collegamenti tracciati in uno schema dipende unicamente dalla comodità di stesura e di lettura dello stesso.

Due collegamenti possono essere in contatto oppure isolati tra loro, il che è facilmente constatabile osservando un apparecchio qualsiasi. Ciononostante, può verificarsi il caso che, durante il disegno dello schema,

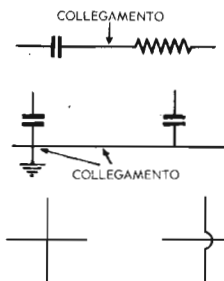



Fig. 1 — Tratti che negli schemi rappresentano collegamenti elettrici, e sistema per indicare un punto di contatto e uno di isolamento.

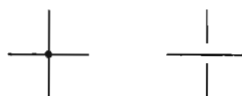



Fig. 2 — Altro sistema, spesso adottato negli schemi, per indicare un contatto tra i conduttori, e, a fianco, il relativo caso di isolamento.

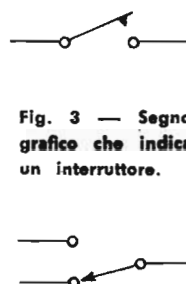



Fig. 3 — Segno grafico che indica un interruttore.

Fig. 4 — Esempio di deviatore o commutatore a 2 posizioni.

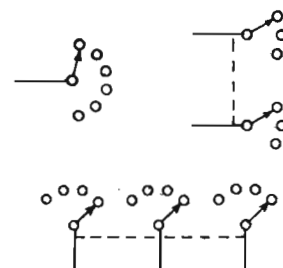



Fig. 5 — Commutatori vari. Vengono definiti rispettivamente: ad 1 via e 6 posizioni; 2 vie e 3 posizioni; 3 vie e 4 posizioni. Le linee tratteggiate indicano il monocomando.

essi debbano incrociarsi sulla carta. La **figura 1** mostra, oltre all'esempio di un collegamento normale ed uno di massa, i vari casi di conduttori in contatto o isolati. Se i due conduttori che si incrociano si intersecano direttamente, possono essere in contatto tra loro, ed in questo caso, nel medesimo schema, se in altri luoghi vi sono incroci isolati essi saranno rappresentati in modo che uno dei due scavalchi l'altro con un piccolo arco. Se invece l'incrocio diretto si intende come coppia di conduttori isolati, nei punti in cui gli incroci saranno in contatto verrà praticato un puntino in maniera evidente nel punto esatto dell'incrocio (vedi **figura 2**).

La **figura 3** mostra la rappresentazione grafica di un comune interruttore, ed è facile notare l'evidenza della possibilità di chiudere o di aprire il circuito spostando il contatto mobile la cui presenza è ovvia in un interruttore vero e proprio. Analogamente risulterà chiara la rappresentazione di un deviatore, illustrata dalla **figura 4.** Si nota infatti che la freccia, la quale indica il contatto mobile, può essere messa in contatto con l'uno o l'altro dei punti affiancati, a seconda di dove si desideri convogliare la corrente che percorre il conduttore facente capo alla freccia.

Una volta compresa la rappresentazione grafica dell'interruttore e del deviatore, sarà facile passare a quella del commutatore, sia esso semplice o complesso. La **figura 5** mostra appunto lo schema di alcuni tipi di commutatori, alcuni dei quali sono a varie sezioni. In questo caso, la linea tratteggiata che le unisce indica che esse vengono comandate da un unico perno, ossia che se una di esse subisce una rotazione del rotore, ruotano contemporaneamente i rotori delle altre sezioni con essa solidali.

Tutti i componenti che entrano a far parte di un'apparecchiatura elettrica sono rappresentabili schematicamente. Con i tratti di cui si è ora detto si schematizzano i collegamenti tra le parti stesse di modo che è facilmente intuibile come in un disegno completo o schema elettrico si possa avere — rappresentato in maniera inequivocabile e facilmente leggibile per un tecnico — un intero complesso elettrico o elettronico. Impareremo a distinguere tutti gli organi dalla loro rappresentazione grafica, man mano che li incontreremo nell'esposizione esplicativa della teoria del loro funzionamento.

RICEVITORI a CRISTALLO

Il radioricevitore più semplice che si possa concepire è rappresentato dal raccoglitore di onde elettromagnetiche, dal demodulatore o rivelatore e da un organo riproduttore. In altre parole: antenna — rivelatore a cristallo — cuffia (**figura 6**). Un cosiffatto apparecchio, pur funzionando regolarmente e cioè pur dimostrando nella pratica la corrispondenza dei principi teorici studiati, presenta notevoli inconvenienti e ragguardevoli limitazioni: esso è perciò soggetto a miglioramenti, in altre parole, ad una più elaborata struttura capace di rimediare ai suoi intrinseci difetti. Per meglio renderci conto di ciò, vediamo anzitutto questi ultimi.

Il rivelatore a cristallo è un dispositivo — come già detto — che non offre in sè alcuna possibilità di amplificazione; da qui la necessità di raccogliere il massimo di segnale a mezzo dell'antenna. Sappiamo che l'antenna è un organo o meglio un circuito risonante su di una data, propria frequenza (che dipende dalle sue caratteristiche elettriche); sappiamo che il massimo rendimento di un circuito oscillante si ottiene per la frequenza di risonanza, e sappiamo infine che le caratteristiche elettriche dell'antenna possono essere variate a mezzo di organi aggiunti (induttanze e condensatori).

Da quanto sopra è facile intuire che, nota la frequenza dell'emittente che si desidera ricevere, se — come praticamente avviene — non vi è corrispondenza con la frequenza di risonanza propria dell'antenna, occorre modificare tale frequenza fino a farla coincidere con quella che si vuol ricevere. Si suole definire tale operazione « sintonizzazione » o « accordo ».

In pratica per l'accordo di un'antenna si ricorre ad una induttanza e ad un condensatore contemporaneamente ed allora lo schema del ricevitore di figura 6 si trasforma in quello riprodotto in **figura 7.** Il condensatore, essendo variabile nel suo valore, permette di scegliere entro una certa gamma la frequenza: naturalmente potrebbe essere resa variabile anche l'induttanza, o solo l'induttanza, ma si è sempre dimostrato più pratico affidare tale compito al condensatore.

Se, realizzando un ricevitore come dallo schema di figura 6 noi, in posizione molto prossima ad una emittente e con la coincidenza di altre condizioni fa-

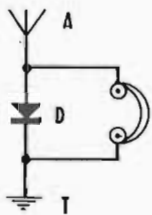



Fig. 6 — Raccoglitore d'onde, rivelatore e riproduttore fonico formano il più semplice ricevitore realizzabile.

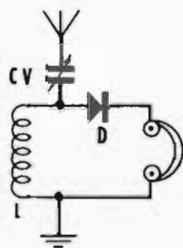



Fig. 7 — Con l'aggiunta di induttanza e capacità regolabile si eleva il rendimento per una data frequenza.

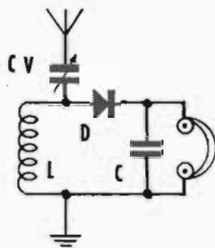



Fig. 8 — Inserendo « C » si impedisce che l'Alta Frequenza residua, dopo la rivelazione, si inoltri alla cuffia.

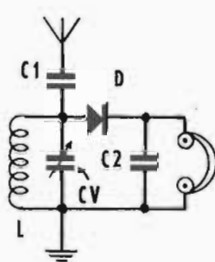



Fig. 9 — L'accordo sulla frequenza può essere meglio effettuato dal circuito « L-CV », accoppiato all'antenna tramite « C1 ».

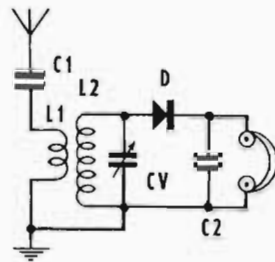



Fig. 10 — Il ricorso a due circuiti oscillanti tra loro accoppiati (trasformatore di A.F.) aumenta la selettività.

vorevoli, possiamo pervenire all'ascolto, passando a quello di figura 7 noteremo, in particolare per un dato valore del condensatore (che dipende dalla frequenza che si vuole sintonizzare), un aumento notevole della intensità sonora; inoltre verrà aumentato anche il raggio entro il quale l'ascolto può aver luogo, vale a dire che in località in cui con il primo ricevitore non è dato di effettuare alcun ascolto, con il secondo tale ascolto può invece verificarsi.

Il lettore ricorderà che nella schematica esposizione del principio illustrante la demodulazione si è detto (vedi pagina 52) che all'uscita del diodo (qui rappresentato dal cristallo) è opportuno eliminare l'Alta Frequenza residua. Per fare questo ne favoriremo la deviazione a mezzo di un condensatore che rappresenterà una buona via di conduzione (C in **figura 8**) e ciò ne impedirà l'inoltro al riproduttore: avremo attuato così un ulteriore miglioramento perchè la presenza dell'Alta Frequenza nel riproduttore, nel quale non è necessaria, può essere causa di inconvenienti, se non gravi, tuttavia a volte fastidiosi.

Rimangono ciò nonostante altri difetti all'apparecchio costruito secondo lo schema di figura 8: il principale consiste nella sua attitudine a ricevere non solo la stazione che si desidera ma anche eventuali altre stazioni presenti con lunghezza d'onda diversa. Si dice in questo caso che l'apparecchio non è *selettivo,* vale a dire che non riesce a scegliere, a selezionare, la stazione voluta, da altre. Tutto ciò, nonostante l'accordo d'antenna effettuato. Questo fenomeno viene giustificato dal fatto che, se per il punto di risonanza si verifica in effetti il rendimento più elevato del circuito oscillante, tuttavia per frequenze prossime a tale punto il circuito non rappresenta un ostacolo di modo che, se anche in misura minore, l'energia di altre emittenti perviene al cristallo e viene anch'essa rivelata traducendosi in suono. Un accordo o sintonizzazione presentante questo difetto è conseguenza di una risonanza che viene detta « piatta » in contrapposto ad una risonanza su di una sola e ben determinata frequenza (o quasi) che viene detta « stretta ».

Lo schema di figura 8 può essere variato in quello di **figura 9**. Qui si ha anzitutto una sintonizzazione molto approssimata tra l'antenna e l'apparecchio vero e proprio, ottenuta con l'impiego di un condensatore fisso, C_1, tra i due elementi. La sintonizzazione più stretta, quella atta a selezionare le stazioni, viene effettuata da CV che si trova ai capi della bobina L. Nel complesso — in particolare per determinate emittenti e situazioni — questo ricevitore può rappresentare un passo avanti nei rispetti dello schema precedente perchè può risultare leggermente più selettivo. Tuttavia, se si è in presenza di due stazioni che irradiano una notevole energia, la separazione sarà sempre alquanto problematica.

Se un circuito accordato effettua comunque una selezione di frequenza — anche se spesso insufficiente, come abbiamo testè visto — due circuiti del genere posti uno dopo l'altro potranno consentire una più acuta selezione. In altre parole, aumenteranno la selettività. Possiamo applicare questa idea al nostro ricevitore di figura 9 e perverremo allora allo schema di **figura 10** che risulta indubbiamente più selettivo del precedente. Esaminiamo un po' più attentamente questo schema: C_1-L_1 è uno dei circuiti oscillanti ed L_2-Cv è l'altro. Se ci richiamiamo a quanto abbiamo esposto a pag. 54 e 55 a proposito dell'induttanza, comprenderemo facilmente come, avvicinando L_1 ad L_2, potremo dar luogo — grazie al flusso rispettivo — ad un concatenamento o, per meglio dire, ad un accoppiamento mediante il quale risulta possibile trasferire (sia pure con un po' di perdite) l'energia presente in L_1 (proveniente dall'antenna) ad L_2. Avremo realizzato un trasformatore di Alta Frequenza; in esso, in questo caso, L_1 viene detto primario ed L_2 secondario.

Un circuito risonante elettrico è composto — sappiamo — da induttanza e da capacità tra loro connesse. Questi due elementi possono però essere uniti nel nostro caso, uno a seguito dell'altro così come si vede alle figure 7 e 8 (Cv-L), 9 e 10 (C_1-L e C_1-L_1 rispettivamente), oppure uno ai capi dell'altro, come appare a figura 9 per L-Cv ed a figura 10 per L_2-Cv. Nel primo caso si ha un circuito oscillante aperto, nel secondo un circuito oscillante chiuso.

Se pur vengono detti aperti, i circuiti risonanti Cv-L degli schemi di figura 7 e 8, e gli altri come tali citati, è opportuno precisare che per essi ci si riferisce agli organi aggiunti e non all'intero schema; infatti, sapendo che l'antenna presenta un'induttanza propria ed una sua capacità verso terra, possiamo raffigurare tale induttanza e tale capacità come in **figura 11.** Vedremo allora come, anche nel caso del circuito cosiddetto

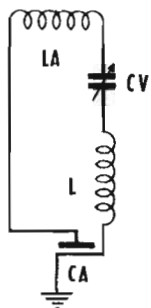



Fig. 11 — Raffigurando con « LA » e con « CA » induttanza e capacità propria dell'antenna si constata che anche il circuito « aperto » è in realtà chiuso.

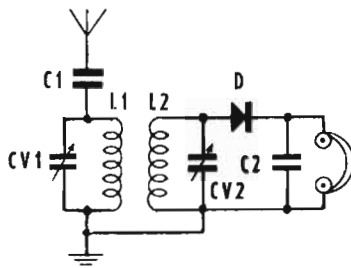



Fig. 12 — Se il circuito primario del trasformatore di Alta Frequenza viene anch'esso accordato con un condensatore variabile (CV1) si ottiene un rendimento ed una selettività molto più alta.

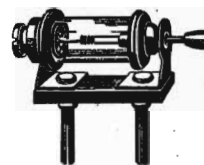



Fig. 13 — Dispositivo rivelatore a cristallo di galena. Esso oggi è scarsamente usato perchè sostituito da diodi a contatto fisso.

aperto, si abbia in realtà un circuito risonante chiuso.

Può accadere — e assai spesso accade — che anche il circuito di figura 10 non presenti una sufficiente selettività: si può pensare allora di ricorrere ad un terzo circuito risonante, ma in realtà poche volte ciò è possibile. Infatti, poichè — come sappiamo — non abbiamo amplificazione, e poichè per ogni trasformatore ha luogo una perdita, l'energia inizialmente disponibile verrebbe ad essere eccessivamente dispersa. Si preferisce, nel caso di cui sopra, ricorrere anzitutto ad un altro accorgimento per accrescere la selettività: sintonizzare in maniera « stretta » tanto il primario che il secondario del trasformatore di Alta Frequenza L_1-L_2. Lo schema diventa allora quello di **figura 12** ove, con l'aggiunta di CV_1 al primario (rispetto allo schema di figura 10) si attua una selettività assai maggiore.

Un ultimo accorgimento atto ad influenzare favorevolmente la selettività consiste nell'agire sul grado di accoppiamento (maggiore o minore distanza) tra L_1 ed L_2.

Quest'ultima induttanza riceve, tramite il flusso, la energia a radiofrequenza da L_1: è ovvio quindi che più accoppiata — più vicina — sarà alla bobina L_1 maggiore sarà il trasferimento. Viceversa, aumentando la distanza, il segnale in L_2 risulterà più debole: se l'allontanamento delle due bobine viene attuato di proposito sino al punto in cui i segnali di interferenza non riescono più ad influenzare L_2 mentre il segnale desiderato (e per il quale i circuiti sono accordati) può essere ancora utilizzato data la sua maggiore entità, si otterrà la discriminazione desiderata e si potrà dire di avere aumentata la selettività. Naturalmente tutto ciò si traduce anche in una diminuzione di rendimento.

Negli schemi di ricevitori a cristallo si possono includere più o meno varianti e accorgimenti atti a raggiungere il migliore sfruttamento dell'esigua energia disponibile, ma in definitiva non vi possono essere sostanziali discostamenti dall'unione classica dei componenti principali. Ci limiteremo, a questo proposito, alla descrizione di due esemplari nei quali appunto si possono compendiare le diverse idee che i progettisti hanno elaborato per ottenere il rendimento massimo.

E' opportuno premettere che, allo stato attuale della tecnica, il ricevitore a cristallo fine a se stesso non è più giustificato perchè anche assai economicamente è oggi possibile completarlo con circuiti di amplificazione in modo da ottenere un apparecchio di uso sufficientemente pratico. Il lettore che si accinge a realizzare un ricevitore a cristallo tenga presente ciò: daremo, in una prossima lezione — quando del montaggio e dei fenomeni di funzionamento egli si sarà fatta sufficiente idea — una descrizione dettagliata delle possibili soluzioni riguardanti il completamento, sotto questo punto di vista, della sua attuale realizzazione. In relazione a ciò ci preme però affermare che se realmente si vuole raggiungere per gradi — così come è senz'altro consigliabile — una conoscenza e padronanza della materia, è bene che qualcuna di queste semplicissime costruzioni venga realizzata: si avrà, se non altro, la soddisfazione di aver costruito, per la prima volta, un complesso elettronico che nella sua apparente semplicità è tuttavia completo e capace di riprodurre voci e suoni generati a distanza.

LA SCELTA del MATERIALE

Il rettificatore

Abbiamo sin qui parlato di ricevitori « a cristallo ». A questo punto dobbiamo precisare che, in realtà oggi il cristallo così come esso era inteso una volta non viene più impiegato.

Il cristallo (cristallo di galena, ossia di solfuro di piombo) è stato uno dei primi rettificatori o « detector » delle onde elettromagnetiche. Appoggiando su di esso, su di una superficie ristretta, un elettrodo (costituito da un filo elastico detto « baffo di gatto ») si verifica tra il cristallo e l'elettrodo quel passaggio in un solo senso, dell'energia a radiofrequenza, che è alla base del fenomeno di rettificazione.

La poca stabilità di contatto, l'ossidazione ed altri fattori, hanno comunque sempre reso di scarsa praticità l'uso di questo dispositivo, illustrato alla **figura 13**.

Esso è stato in questi ultimi anni sostituito da un elemento più stabile nel quale si svolge lo stesso fenomeno — formato da materiale semiconduttore (germanio o silicio) — e che prende il nome più corrente di diodo al germanio o diodo al silicio. Di tali diodi ve ne sono di vari tipi e forme (**figura 14**), tutti costituiti comunque da una piccola ampolla — contenente il semiconduttore ed i relativi contatti — dalle estre-

Fig. 14 — Tipi diversi di diodi rettificatori per Alta Frequenza. In tutti è presente un contrassegno (spesse volte una striscia) che indica il lato o « elettrodo » positivo.

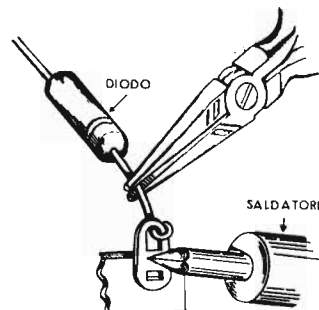



Fig. 15 — Nelle operazioni di saldatura dei diodi è opportuno impiegare una pinza che, assorbendo il calore dal filo conduttore impedisce che esso si trasferisca all'interno del diodo stesso.

mità della quale escono due terminali o elettrodi in filo metallico; come struttura e principio, il diodo attuale non differisce molto da quello a galena pur avendo sullo stesso i vantaggi che sono stati accennati.

Diremo subito — ai fini pratici del montaggio — che il collegamento mediante saldatura deve essere effettuato ad una distanza non inferiore a 15 mm dal punto in cui detti terminali entrano nel corpo del diodo, meglio ancora interponendo una pinza tra il diodo stesso ed il terminale da saldare (vedi **figura 15**). Ciò è utile, sia per tenere fermo in posizione il diodo, sia per consentire al calore trasmesso dal saldatore di disperdersi attraverso le armature della pinza prima di raggiungere il cristallo, cosa che sarebbe per esso dannosa.

L'acquisto di un diodo da impiegare nella realizzazione dei semplici ricevitori che più avanti descriveremo, non comporta problemi di scelta: è sufficiente accertarsi che esso sia del tipo atto alla rettificazione a radiofrequenza.

Condensatori

Negli apparecchi radio i condensatori sono largamente impiegati. Troviamo tipi a valore variabile e, in maggior misura, tipi a valore fisso. Inoltre, si incontrano condensatori che si differenziano tra loro anche per la natura del dielettrico (che sappiamo essere l'isolante esistente tra le armature): il dielettrico può essere in essi l'aria, la mica, la carta, materiale plastico, ceramica, un ossido, ecc. Nel loro aspetto alcuni tipi sono già stati illustrati alle figure 22 e 23 della lezione precedente. Abbiamo anche visto, succintamente, il loro principio di funzionamento: ci limiteremo quindi solamente ad alcuni cenni di carattere pratico.

Per quanto si riferisce ai condensatori a valore variabile — più correntemente detti « variabili » — possiamo affermare che i migliori sono senz'altro quelli che hanno come dielettrico l'aria. Sarà molto opportuno perciò che già dai primi acquisti si dia la preferenza a questo tipo in quanto capace del miglior rendimento, non solo, ma utilizzabile praticamente in ogni circuito mentre altri modelli (ad esempio a dielettrico mica, ecc.), se pur più economici e meno ingombranti, risulterebbero in avvenire — vogliamo dire per i successivi apparecchi che descriveremo — quasi sempre inservibili.

Sugli schemi degli apparecchi, o in calce ad essi, vengono sempre indicati i valori dei componenti. Così, per i condensatori, troveremo indicato il valore espresso in *microfarad* o *micro-microfarad* o ancora in *picofarad*. Si tratta di unità di misura della capacità; impareremo a conoscerne appieno il valore e vedremo, in assai maggiore dettaglio — e cioè in una lezione a ciò destinata — tutto ciò che concerne i condensatori stessi, nella loro teoria e nella loro costruzione. Per ora possiamo a buon conto acquistare quanto ci necessita solo che sia noto il valore necessario ed il tipo di dielettrico.

Per variare la capacità di un condensatore a ciò predisposto si agisce sul suo albero o perno di comando che è meccanicamente unito ad una serie di armature. Poichè, in conseguenza della variazione di capacità si ha la variazione della frequenza di quel dato circuito (circuito sintonizzato) si suole munire l'albero del « variabile » di un bottone ad indice o manopola graduata di modo che, rispetto ad un punto di riferimento fisso, è facile ritrovare ogni volta che lo si desidera, la posizione necessaria ad un dato accordo. Ciò è particolarmente utile quando tali comandi sono più di uno.

All'uopo sono in commercio molti tipi di tali bottoni ad indice e manopole graduate: esse hanno un foro centrale che solitamente è di diametro standard (circa 6 mm) così come è dello stesso diametro standard l'albero di comando del variabile. Il fissaggio avviene a mezzo di una o due viti di pressione laterale. Molto spesso l'albero del condensatore risulta troppo lungo; esso può essere facilmente accorciato con un taglio a mezzo di un seghetto, tuttavia, poichè nel nostro caso i montaggi dei primi ricevitori che eseguiremo sono sperimentali e come tali destinati ad essere poi smontati per riutilizzare il materiale, può essere opportuno trascurare l'estetica del montaggio e lasciare l'albero sporgente. A buon conto, un'altra soluzione è possibile e consiste — come si vedrà nei disegni costruttivi — nel disporre il condensatore, a mezzo di una squadretta, ad una distanza tale dal pannello frontale che consenta all'albero di sporgere solo quel tanto che è necessario per il fissaggio della manopola.

I criteri di massima che devono guidare nell'acquisto dei condensatori possono riassumersi, per ciò che

Fig. 16 — Le bobine di induttanza possono assumere forme diverse. A sinistra una bobina cosiddetta a « nido d'ape », oggi non più usata; in centro una bobina intercambiabile; a destra bobine con nucleo regolabile.

Fig. 17 — Tipi vari di cuffie. Questi riproduttori del suono possono essere anche monoauricolari, per dar modo a chi ascolta di udire anche i suoni dell'ambiente. Possono essere magnetiche, dinamiche, piezoelettriche: vedremo più avanti tali differenze.

riguarda i condensatori fissi: dielettrico mica o ceramica per quelli destinati a svolgere funzioni in circuiti percorsi da Alta Frequenza (circuiti sintonizzati, ecc.), dielettrico carta o materiale plastico per quelli da impiegarsi in circuiti a Bassa Frequenza. Per quanto si riferisce ai variabili: dielettrico aria, montaggio su cuscinetti a sfere e isolamento (materiale che sostiene e che divide la serie delle armature fisse da quelle variabili) ceramico.

Le induttanze

Le bobine che costituiscono le induttanze dei circuiti accordati sono l'unico organo che possa essere costruito dall'amatore stesso. E' per questo che saranno esposti dei dati costruttivi: ciò non toglie che nei casi più correnti — ossia quando le bobine non devono avere particolari prese e speciali avvolgimenti — sia preferibile acquistarle già avvolte. Si potrà così disporre di tipi con nucleo regolabile, in apposito materiale ferromagnetico (**figura 16**): il rendimento è più elevato che con il nucleo ad aria e l'ingombro è molto minore, con diversi vantaggi da ciò derivanti.

Data la particolarità dei due schemi che descriveremo, non essendoci in commercio bobine idonee, è giocoforza effettuarne la costruzione. Si adoperino supporti in buon cartone bachelizzato, filo di rame isolato con doppia copertura di cotone o di seta e, nell'avvolgimento delle spire, si ponga cura a che le stesse risultino ben ferme. L'inizio e la fine degli avvolgimenti faranno capo ad apposite pagliette sulle quali il filo sarà saldato e che serviranno anche per il collegamento dei conduttori d'unione al circuito.

Il riproduttore

Abbiamo esaminato sin qui, praticamente, tutti gli organi che entrano a far parte dei due nostri semplici ricevitori. Non ci rimane che fare un cenno al riproduttore sonoro, ossia la cuffia (**figura 17**). Occorre che la *resistenza interna* (dato che caratterizza la cuffia stessa), sia di alto valore: solitamente si hanno *2000 ohm* per ogni auricolare ed il valore è scritto sul retro degli stessi. Nel caso si venga in possesso di una cuffia usata occorre verificarne lo stato. Si svitino i due padiglioni, in maniera da accedere alla membrana, normalmente alloggiata tra sottili guarnizioni circolari. E' indispensabile aver cura di tali guarnizioni e rimetterle nella loro esatta posizione allorché la cuffia verrà nuovamente richiusa, in quanto esse determinano la distanza tra la membrana metallica e le calamite (o per meglio dire le espansioni polari delle medesime): da tale distanza dipende la sensibilità nonchè la qualità della riproduzione. La distanza deve essere più breve possibile pur evitandosi che sia talmente ridotta da portare, in presenza di un forte segnale, alla adesione costante tra calamita e membrana.

Una volta aperta la cuffia, si dovrà controllare (servendosi della membrana stessa) se le calamite esercitano la dovuta forza di attrazione: maggiore è detta forza, maggiore è il rendimento. In caso contrario, la cuffia è « scalamitata », per cui se si vuole ripristinarne l'uso occorre rivolgersi ad un laboratorio attrezzato per farla rimagnetizzare. Supponendo che le calamite siano efficienti in entrambi i padiglioni, si verifichino gli avvolgimenti e il cordone che ad essi fa capo, per accertare che non siano interrotti o presentino contatti incerti. A questo scopo è sufficiente una pila qualsiasi per comune lampada tascabile, anche se oramai fuori uso, ossia scarica per il suo impiego. Toccando i poli di detta pila con i terminali del cordone della cuffia, si dovrà udire, ad ogni contatto, il caratteristico rumore di una scarica emessa da entrambi i padiglioni. Il rumore sarà debole se la pila è scarica, e molto forte in caso contrario. La cuffia è comunque un organo di elevata sensibilità e si può rendersene conto collegando semplicemente ad una presa di terra (ad esempio il tubo dell'acqua o quello del termosifone) uno dei terminali, toccando con una mano l'altro terminale e semplicemente avvicinando l'altra mano al filo isolato dell'impianto domestico della luce elettrica: si udrà un caratteristico ronzio denotante appunto la presenza della corrente.

L'antenna

Per ricevere le trasmissioni con un ricevitore a cristallo — stante quanto si è già detto in merito all'esigua energia disponibile — è evidentemente necessario disporre di un efficiente mezzo atto a raccogliere il massimo di tale energia a radiofrequenza: questo mezzo è, come è noto, l'antenna.

L'antenna ideale è costituita da un conduttore della lunghezza di qualche decina di metri, teso tra due

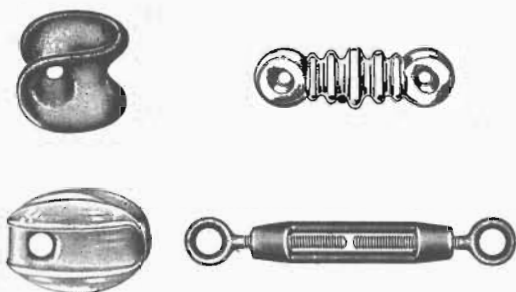



Fig. 18 — Isolatori per antenne esterne: a sella, a noce, a tirante. È riprodotto anche un tirante regolabile che viene spesso adottato in antenne esterne estese, per tendere adeguatamente il filo.

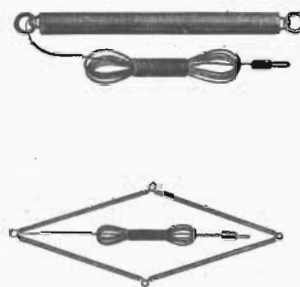



Fig. 19 — Antenne interne reperibili già pronte in commercio, per tratti rettilinei e per uno o più angoli.

Fig. 19 bis — Isolatori a chiodo, utili per fermare il filo delle antenne interne o le discese d'antenna.

punti posti molto in alto, possibilmente sulla sommità dell'edificio. Connesso a detto filo teso, si ha un conduttore che dall'antenna perviene sino all'apparecchio e che vien detto *discesa d'antenna*. Il filo d'antenna è nudo e isolato rispetto ai suoi sostegni, da entrambi i lati, da appositi isolatori (**figura 18**), mentre la discesa è quasi sempre costituita da un filo ricoperto da isolante che vien fatto passare con appositi isolatori nel muro, da finestre ecc.

L'antenna, così come è stata descritta, rappresenta la classica realizzazione di un tempo. Attualmente è assai difficile vederne, soprattutto perchè — come già si è detto — i ricevitori odierni offrono una sensibilità così elevata da poter fare a meno di tutta l'energia che una simile antenna raccoglierebbe.

Nel nostro caso particolare (ricevitore a cristallo) un'antenna come è stata illustrata sarebbe però più che opportuna per raggiungere il massimo rendimento. Tuttavia, è da chiedersi se valga la pena di effettuare una simile installazione per montaggi non definitivi, dato poi che sia facile, specialmente in città, riuscire in pratica ad una tale realizzazione di aereo. Occorrerà pertanto ripiegare su antenne assai meno efficienti: le così dette *antenne interne*. Queste antenne vengono anche vendute predisposte (**figura 19**) e vanno tese lungo le pareti di una stanza: un semplice filo di rame isolato, della sezione di circa un millimetro, può però fare al nostro caso. Esso sarà teso in prossimità del soffitto, ad una distanza di almeno 15 centimetri dai muri e sarà sostenuto da isolatori.

Si formerà una grande spira descrivente il perimetro del locale. Il filo ad un certo punto verrà piegato verso il basso e condotto all'apparecchio ove entrerà nell'apposita presa d'antenna, solitamente con una spina a banana. Volendo evitare anche questo tipo di installazione si può far fungere da antenna la struttura e l'impianto di un termosifone, l'impianto della tubazione del gas o, meglio ancora, l'impianto della tubazione dell'acqua. Questi collegamenti in realtà costituiscono una *presa di terra*, ma poichè presentano energia a radiofrequenza, se connessi all'entrata di un apparecchio radio, possono servire quali captatori delle emissioni. Il risultato è, in ogni caso, in stretta relazione con la località in cui ci si trova, la distanza dal trasmettitore e numerosi altri fattori che condizionano l'esito della ricezione con gli apparecchi a cristallo. Consigliamo di sperimentare diverse soluzioni in proposito per potersi così soffermare su quella che si rivelerà come la più idonea.

CRITERI GENERALI di REALIZZAZIONE

In effetti, non si può dire che esistano per gli apparecchi a cristallo norme costruttive da seguire scrupolosamente. L'esiguo numero dei componenti e dei collegamenti relativi fa sì che il materiale possa essere collocato nei più svariati modi. Tuttavia, esprimiamo egualmente un concetto che è opportuno avere sempre presente in quanto in seguito — specialmente con apparecchi assai complessi — può diventare un fattore di notevole importanza: tutti i collegamenti inerenti i circuiti nei quali circola radiofrequenza, e in particolar modo quelli facenti capo a circuiti accordati, devono essere quanto più brevi possibile.

Per attuare questa norma è evidente che si cercherà di sistemare bobine e condensatori variabili assai prossimi tra loro e per i conduttori dei collegamenti relativi si sceglierà sempre il percorso più breve.

I montaggi di ricevitori a cristallo sono spesso effettuati su pannelli, in custodie (**figura 20**) o su supporti di materiale isolante; in ciò si differenziano dagli apparecchi a valvole che ricorrono quasi sempre a telai o « chassis » in metallo. Infatti, in quest'ultimo caso, la presenza di molti organi porta a numerosi collegamenti, una parte comune dei quali viene affidata al metallo costituente il telaio stesso (tali collegamenti vengono detti *collegamenti di massa*). Naturalmente, anche nei semplici apparecchi che descriveremo si possono avere collegamenti che potremmo definire di massa, ma essi sono riuniti allora anzichè alla massa metallica di uno « chassis », ad un normale conduttore.

Come norma costruttiva per i montaggi in genere è bene seguire il criterio di radunare anzitutto tutti i componenti al completo prima di iniziare qualsiasi altra operazione. Questa precauzione permette una sommaria, ma tuttavia utile, verifica della possibilità di collocamento nello spazio a disposizione, specialmente quando si vuol contenere il tutto in una predeterminata custodia, e consente anche una specie di inventario per

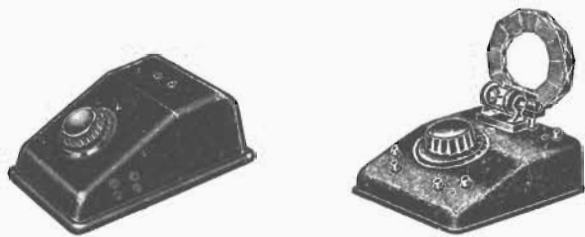



Fig. 20 — Due custodie in bachelite di tipo classico per apparecchi a cristallo. Sono a volte già munite di boccole per l'inserimento dei diversi organi, come si vede a destra; in quest'ultima figura si osserva anche l'impiego della bobina a nido d'ape.

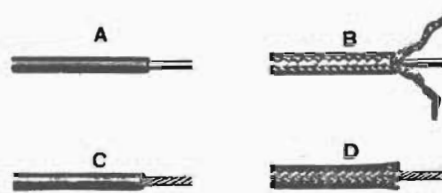



Fig. 21 — Fili per collegamenti. Possono essere a conduttore unico (A) e a più conduttori, sottili, intrecciati (B); a volte l'isolante è ricoperto da una fascia metallica (fili schermati) come in C e D.

assicurarsi che tutto il necessario sia a disposizione.

I componenti vanno in seguito collocati nelle posizioni ritenute migliori per loro: ciò si riferisce alle parti principali e di maggiore ingombro. Si potranno, dopo di ciò, iniziare i collegamenti.

In commercio si trovano diversi tipi di conduttori realizzati appunto per i collegamenti degli apparecchi radio (**figura 21**). Un tipo molto usato è quello cosiddetto «push-back» che è ricoperto in cotone paraffinato, colorato, ed è costituito da un conduttore in rame stagnato sul quale l'isolamento può essere facilmente fatto arretrare per scoprire il filo stesso e dare luogo alle saldature.

Un altro metodo per eseguire i collegamenti — in realtà poco usato per le apparecchiature comuni, più frequente invece nelle apparecchiature di misura — consiste nell'adoperare filo di rame nudo, stagnato e rigido, e nell'inserire su di esso un tubetto di diametro leggermente maggiore, lungo tutto il percorso da un componente all'altro: questo tubetto isolante è noto col nome di «sterling» ed è anch'esso colorato variamente.

E' superfluo ricordare l'importanza delle diverse saldature che si dovranno eseguire. Abbiamo detto a lungo su di esse, e sulla tecnica della saldatura, alla nostra seconda lezione.

Consigliamo, a chi si accinge al montaggio di un ricevitore, altri semplici accorgimenti che sono frutto di provata esperienza. Uno di essi consiste nel seguire un determinato ordine nell'effettuare i collegamenti stessi; è bene infatti iniziare da quelli che la normale, logica lettura dello schema pone all'inizio; vale a dire nell'ordine: *circuito di antenna - circuito accordato - rivelatore - Bassa Frequenza*. In altre parole, è come se si seguissero col montaggio le diverse fasi funzionali dell'apparecchio.

E' indispensabile avere innanzi a sè lo schema elettrico ed è molto utile farvi un segno in corrispondenza di ogni collegamento allorchè lo stesso risulta eseguito. Così si eviterà di dimenticare qualche unione di parti perchè, ad apparecchio finito, tutti i tratti dello schema elettrico dovranno risultare contrassegnati.

Circa la scelta fra i due apparecchi di cui facciamo seguire la descrizione non è possibile dare un suggerimento a priori. Indubbiamente il secondo risulta più complesso e, potremmo dire, più completo: sarà da preferirsi sicuramente nei casi in cui risulti necessaria una maggiore selettività. La spesa d'acquisto un po' più elevata in conseguenza della presenza di un maggior numero di componenti, non crediamo possa rappresentare un grave ostacolo, specialmente considerando il fatto che quasi tutto il materiale sarà poi ancora utilizzato. A buon conto, è pur possibile sempre eseguire successivamente i due montaggi, iniziando dal più semplice.

Entrambi gli apparecchi dovranno funzionare subito, non appena terminato l'ultimo collegamento: sarà sufficiente ruotare le armature del condensatore variabile per localizzare l'emittente. In caso di insuccesso occorrerà ricontrollare, uno per uno, i diversi collegamenti e, se gli stessi risulteranno corretti, bisognerà accertarsi (con una eventuale sostituzione) dell'efficacia dei singoli componenti.

Se l'apparecchio funziona si potranno apportare ad esso successivi piccoli ritocchi che consentiranno un rendimento superiore. Si tratterà, in genere, di attuare qualche variante che modifichi o la selettività o la sensibilità nei confronti di una stazione che si vuole ricevere in condizioni migliori rispetto alle altre. Soprattutto, si potrà agire sul circuito antenna-terra sperimentando, come si è già detto, tipi diversi d'antenna, con o senza la presenza contemporanea della «presa di terra» che, ricordiamo, a volte può fungere anch'essa da antenna.

Sconsigliamo senz'altro, per l'antenna, di servirsi dei cosiddetti «tappi luce», consistenti in un condensatore da collegarsi ad un filo dell'impianto di luce elettrica casalingo. E' una soluzione pericolosa perchè, per un eventuale guasto al condensatore stesso, può far pervenire all'apparecchio ed all'operatore la corrente della rete luce.

Si ricorda infine che, salvo quanto si è detto nei riguardi delle possibili varianti d'antenna, non è dato di superare un certo livello di risultati (buon ascolto in cuffia) perchè non si ha alcun effetto di amplificazione. I passi successivi per migliorare i risultati saranno appunto quelli che porteranno all'aggiunta di dispositivi di amplificazione di facile attuazione. E' quanto costituirà oggetto di una nostra lezione, non prima però di aver spiegato nei dovuti termini la teoria relativa al loro funzionamento.

SEGNI SCHEMATICI

= Condensatore fisso

= Condensatore variabile

= Condensatore variabile

= Condensatore variabile con altro di minore capacità (compensatore) in parallelo

= Condensatore variabile doppio con comando unico (detto «in tandem»)

= Nucleo fisso

= Nucleo regolabile

= Nucleo regolabile

= Nucleo regolabile

= Bobina a prese multiple

= Bobina a induttanza variabile

= Bobina con nucleo fisso

= Bobina con nucleo regolabile

= Bobine per A.F. accoppiate per induzione

= Bobine per A.F. accoppiate, con secondario accordato

= Bobine per A.F. accoppiate, con primario e secondario accordati

= Bobine per A.F. con nucleo, accoppiate e accordate

= Microfono

= Altoparlante

= Altoparlante

= Altoparlante

= Cuffia telefonica biauricolare

= Raddrizzatore (rivelatore) a cristallo, (diodo)

DOMANDE sulle LEZIONI 7ª e 8ª

N. 1 -
Cosa si intende per « interferenza »?

N. 2 -
Quante sono le sezioni che compongono un trasmettitore completo?

N. 3 -
Cosa si intende per « stadio »?

N. 4 -
Quale è, in ricezione, la funzione contrapposta alla modulazione di un'onda trasmessa?

N. 5 -
Cosa si intende per « bobina »? Quale è la sua funzione?

N. 6 -
Quale è il compito di un nucleo magnetico allorchè viene introdotto in una bobina?

N. 7 -
In cosa consiste un condensatore? Quale è la sua funzione?

N. 8 -
In quale caso un condensatore viene detto « variabile »?

N. 9 -
Quali sono le parti vitali di un riproduttore telefonico?

N. 10 -
Quale è il compito del magnete permanente in una cuffia?

N. 11 -
Quale è il compito del « cristallo » in un ricevitore semplice?

N. 12 -
Come avviene la rivelazione dell'alta frequenza?

N. 13 -
Quali sono le condizioni necessarie affinchè un ricevitore sia « selettivo »?

N. 14 -
In quale modo è possibile aumentare la selettività di un ricevitore?

N. 15 -
In un ricevitore a cristallo è opportuno collegare un condensatore ai capi della cuffia: quale è il suo compito?

N. 16 -
In quanti modi è possibile ottenere l'accordo in un circuito oscillante costituito da un'induttanza ed una capacità?

N. 17 -
Quali sono le cause per cui non è possibile aumentare a piacere il numero dei circuiti accordati?

N. 18 —
Per quale motivo, in un circuito ad Alta Frequenza, i collegamenti devono essere il più possibile corti?

RISPOSTE alle DOMANDE di Pag. 41

N. 1 - La carica positiva è simile a quella derivata dall'attrito tra un corpo di vetro ed un panno di seta: la carica negativa è simile a quella derivata dall'attrito tra un corpo di gomma ed una pelliccia di gatto.

N. 2 - La molecola è la parte più piccola in cui può essere scissa una sostanza, e l'atomo la parte più piccola in cui può essere scisso un elemento.

N. 3 - In elettroni, protoni e neutroni.

N. 4 - Un ione è un atomo con una carica positiva o negativa.

N. 5 - I corpi sono tanto più conduttori quanto maggiore è il numero degli elettroni liberi in essi presenti, e viceversa. Non esiste una linea netta di divisione in quanto non esistono nè conduttori nè isolanti perfetti.

N. 6 - Le cariche opposte si attraggono, quelle analoghe si respingono.

N. 7 - La relazione secondo la quale l'aumento di una grandezza corrisponde alla diminuzione di un'altra, e viceversa.

N. 8 - Lo spazio circostante o interposto tra corpi caricati elettricamente.

N. 9 - In un passaggio di elettroni liberi di atomo in atomo.

N. 10 - Al movimento di $6{,}28 \times 10^{18}$ elettroni.

N. 11 - La forza che determina lo spostamento di elettroni liberi.

N. 12 - L'opposizione al passaggio della corrente elettrica. L'unità di misura è l'Ohm, pari alla resistenza che determina la caduta di tensione di 1 volt con una corrente di 1 ampère.

N. 13 - Rispettivamente a 1.000, 1.000.000 e 1/1.000.000.

N. 14 - Due tipi di resistenze variabili: la prima a due terminali, costituiti dal cursore e da un capo della resistenza, e la seconda a tre terminali, costituiti dal cursore e dai due capi della resistenza.

N. 15 - Al prodotto tra la resistenza e il quadrato della corrente (RI^2). Si misura in watt.

N. 16 - In un generatore la corrente scorre dal polo positivo al polo negativo; in un circuito esterno scorre in senso contrario.

N. 17 - Il valore è 250 kohm, con tolleranza del 5 %.

N. 18 - Verde, nero, arancio.

N. 19 - Un deviatore è un dispositivo atto a chiudere alternativamente, — a seconda della sua posizione — due diversi circuiti aventi almeno un punto in comune.

N. 20 - Un commutatore è un dispositivo semplice o complesso, adatto a deviare il passaggio di una o più correnti diverse — a seconda delle posizioni — attraverso due o più circuiti aventi o meno punti in comune.

TABELLA 20 - DIODI RIVELATORI al GERMANIO

Tipo	Tens. inv. max. volt	Corr. dir. max. mA	Corr. inv. µA	Res. inv. Mohm	Marca
per impieghi generali					
OA 150	90,0	20	200 (40 V)	—	Telefunken
OA 159	30,0	5	50 (10 V)	0,200	»
OA 160	15,0	5	100 (10 V)	0,100	»
OA 161	130,0	20	200 (70 V)	—	»
OA 174	70,0	20	250 (150 V)	—	»
SFD 107	5,0	—	10 (10 V)	—	Microfarad
SFD 108	115,0	5	250 (100 V)	—	»
1N 34	60,0	150	500 (50 V)	0,330	Sylv. e RCA
1N 48	70,0	50	830 (50 V)	—	T. Houston
1N 51	40,0	25	1670 (50 V)	—	»
1N 52	70,0	50	150 (50 V)	—	»
1N 63	125,0	150	50 (25 V)	1,000	Sylv. e RCA
1N 65	70,0	50	200 (50 V)	0,250	Sylvania
1N 69	60,0	40	50 (10 V)	0,200	Sylv. e T.H.
1N 70	100,0	30	300 (50 V)	0,400	» » »
1N 75	100,0	50	50 (50 V)	—	T. Houston
1N 81	40,0	30	30 (10 V)	1,000	Sylv. e T.H.
1N 98	60,0	30	—	0,067	Sylvania
per frequenze alte					
OA 70	22,5	150	150 (22,5 V)	0,330	Philips
OA 72	45,0	100	130 (45 V)	2,000	»
OA 73	30,0	150	280 (30 V)	0,020	»
OA 79	45,0	100	90 (45 V)	0,500	»
OA 90	30,0	45	300 (30 V)	0,100	»
OA 172	50,0	1,5	200 (30 V)	0,400	Telefunken
SFD 106	25,0	300	200 (25 V)	2,000	Microfarad
1G 80	55,0	35	200 (50 V)	—	S.G.S.
1G 90	35,0	35	350 (30 V)	—	»
1G 91	20,0	40	100 (10 V)	—	»
1G 92	17,0	35	180 (10 V)	—	»
1N 38	100,0	150	100 (25 V)	1,400	Sylvania
1N 58	100,0	150	500 (50 V)	—	Sylv. e RCA
1N 60	—	150	40 (25 V)	0,150	Sylvania
1N 64	20,0	—	25 (1,3 V)	—	S.G.S.
1N 82	—	—	10 (10 V)	—	Sylvania

I diodi a cristallo per rivelazione sono disponibili in commercio in vari tipi, alcuni dei quali sono elencati nella tabella di cui sopra. Essa consentirà di scegliere, o di riconoscere, il tipo adatto alle esigenze dell'apparecchio che si desidera costruire. È bene chiarire il significato dei vari dati enunciati. La « tensione inversa massima » è la più elevata differenza di potenziale che può essere applicata al diodo *nel senso di non conduzione*, ossia nel senso della sua più alta resistenza. La « corrente diretta massima » è l'intensità di corrente che può percorrere il diodo *nel senso di conduzione*, senza deteriorarlo. La « corrente inversa » (in microampère) è determinata dall'applicazione di una tensione inversa (ampiezza riportata a lato, tra parentesi, come riferimento). La « resistenza inversa » è molto importante, in quanto, paragonata alla resistenza *nel senso di conduzione* (diretta), — che è sempre dell'ordine di qualche centinaio di ohm — dà un'idea del rendimento del diodo come rivelatore. Il rapporto massimo consente appunto il massimo rendimento.

COSTRUZIONE di DUE RICEVITORI a CRISTALLO

MODELLO SEMPLICE

Tutto ciò che può essere utile conoscere prima di intraprendere la costruzione è stato ampiamente detto; il testo che segue presume che sia stata attentamente letta la lezione precedente della quale questi cenni realizzativi costituiscono praticamente un complemento.

Il ricevitore di cui riportiamo lo schema elettrico a **figura 1** è indubbiamente tra i più semplici che si possano concepire: abbiamo del resto seguita, passo passo, l'evoluzione di un simile schema, notando quali benefici si possano trarre dalle successive varianti. La

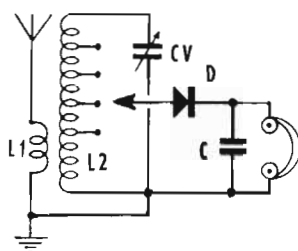



Fig. 1 - Schema elettrico del ricevitore semplice. L'energia raccolta dal circuito « antenna-L1-terra » viene trasferita per induzione al circuito sintonizzato L2-CV; a tale circuito è opportunamente accoppiato il cristallo rivelatore D all'uscita del quale si hanno solo correnti di frequenza acustica che la cuffia traduce in suoni.

ultima di queste, che solo qui è apportata, consiste nella presenza di diverse prese di collegamento sulla bobina di induttanza *L2*: vediamo ora il motivo di questo accorgimento ed i vantaggi che da esso derivano.

Affinchè la cuffia possa generare il massimo di suono occorre evidentemente che al cristallo rivelatore pervenga il massimo di segnale. Il cristallo (con tutto ciò che lo segue) rappresenta una certa resistenza — meglio detta « carico » — che viene ad essere posta ai capi del circuito oscillante accordato dal quale il segnale che interessa viene tratto. Ovviamente il « carico » allorchè è applicato abbassa l'entità del segnale altrimenti presente; in altre parole, se tra gli estremi del circuito oscillante (ai capi di *L2* nel nostro caso) possiamo leggere una data tensione in assenza di carico, allorchè si connette quest'ultimo tale tensione diminuisce. Occorre fare in modo che detta diminuzione sia dell'entità minima consentita, ciò che si ottiene (ammesso che il carico presenti la più alta resistenza possibile) con un accoppiamento opportuno che tenga conto sia delle caratteristiche del circuito oscillante che di quelle del carico, adattandole tra loro. In pratica, per far ciò con il nostro apparecchio è sufficiente spostare il punto di applicazione del carico lungo la bobina *L2* (da qui la necessità delle prese) fino a trovare il punto in cui si ha un passaggio della massima intensità di corrente attraverso il circuito di carico. La presa deve essere scelta dopo aver sintonizzato il ricevitore su una stazione, spostando il collegamento (a mezzo del cavallotto appositamente previsto) fino ad ottenere il massimo volume sonoro.

Non abbiamo ancora esposto quali siano le unità di misura della corrente nè come essa venga in pratica misurata, tuttavia, per chi già avesse conoscenza in merito diremo che — inserendo uno strumento lettore della corrente (*microamperometro*) nel circuito, dopo il rivelatore — mentre si aveva un'indicazione di 18 μA col cristallo connesso all'estremità superiore della bo-

Ecco l'elenco del materiale necessario:

1 tubo di cartone bachelizzato - diametro 4 cm - lunghezza 10 cm filo di rame smaltato, m 20 circa - diametro 0,22 mm

1 condensatore variabile ad aria - CV - capacità pF 365

1 diodo a cristallo di germanio - D - per impieghi generali in Alta Frequenza

1 cuffia magnetica, 4000 ohm di impedenza

1 condensatore a mica - C - da 200 pF

1 manopola graduata o bottone ad indice, per CV

Boccole, prese, squadrette di fissaggio, viti, spine a banana, filo e stagno per collegamenti.

Fig. 2 - Schema corrispondente a quello di figura 1; in luogo dei simboli sono riportati i disegni dei vari componenti.

bina, si raggiungevano ben 280 μA con presa a circa tre quarti dell'intero avvolgimento, in direzione della estremità inferiore (cuffia da 2000 ohm). Naturalmente in queste condizioni sia il volume sonoro che la selettività aumentavano notevolmente. Il controllo a mezzo di lettura di corrente deve servire unicamente come misura relativa, vale a dire per osservare quale sia la migliore posizione della presa: se il carico ha un valore più elevato, la lettura di corrente risulta minore che non con un carico basso, ma questo non significa che il risultato (energia totale disponibile) sia inferiore.

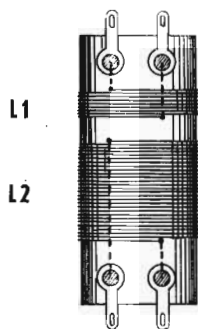



Fig. 3 - Bobina di induttanza. L1 = 16 spire. L2 (a 5 mm da L1) = 95 spire, con presa alla 35ª, alla 45ª, alla 60ª, e alla 80ª. Spire affiancate.

Veniamo ora a qualche cenno di natura costruttiva sebbene, a dire il vero, la realizzazione si presenti con tali caratteri di semplicità che un discorso in merito possa anche essere considerato superfluo.

La **figura 2** riporta una particolare versione dello schema che ai simboli sostituisce il disegno dei diversi componenti: per il principiante è questo un ottimo sistema per rendersi conto di come dallo schema elettrico classico si possa passare alla realizzazione pratica. Quest'ultima, nel disegno citato è ancora un po' simbolica, ma tuttavia chiaramente decifrabile, ed è tale anzi da lasciare al costruttore quella scelta definitiva del collocamento delle parti che gli consente di seguire suoi criteri di estetica e di finitura.

Un tipo di montaggio è stato previsto su pannello isolante (bachelite, ebanite o anche legno compensato) dello spessore di 3 o 4 mm. Il pannello che, come si può osservare dai disegni sottoriportati, reca tutto l'apparecchio, può fungere poi da coperchio ad una scatoletta o a qualsiasi altra custodia cui si adatti. Naturalmente i componenti, in conseguenza di quest'ultimo caso, possono essere collocati anche diversamente da come suggerito.

La bobina di induttanza è l'unico organo che deve essere costruito perchè non reperibile in commercio con le caratteristiche necessarie. Deve essere acquistato un pezzo di tubo di cartone bachelizzato dal diametro di 4 cm., lungo circa 10 cm; su tale tubo saranno effettuati gli avvolgimenti *L1* ed *L2*. La **figura 3** è molto chiara sull'aspetto della bobina finita. Le spire vanno avvolte tutte nello stesso senso; per ogni inizio e fine di avvolgimento si praticheranno due forellini sul tubo, prossimi tra loro, al fine di introdurre e far uscire subito dopo il filo di rame, così come si eseguisse un « punto » di cucitura. Questo accorgimento fà sì che le spire possano restare tese con indipendenza dal tratto di filo che serve, al di fuori della bobina, per i collegamenti.

Gli spezzoni di filo uscenti dalla bobina per ciò che si riferisce alla fine di *L1* e l'inizio di *L2* possono essere intrecciati tra loro. Tra i due avvolgimenti si lascerà uno spazio di 5 mm circa. Nell'avvolgere *L2* si dovrà porre cura nell'esecuzione delle prese: per attuare queste ultime, dopo aver avvolto il numero di spire necessario (ad esempio le prime 35) si praticheranno tre forellini, uno sotto l'altro, sulla direzione dell'ultima spira avvolta. Il filo sarà fatto entrare nel primo e uscirà immediatamente dopo, dal secondo, per costituire lo spezzone di collegamento con la propria boccola; all'altezza della boccola lo si ripiegherà su se stesso per tornare — intrecciando tra loro l'« andata » ed il « ritorno » — al secondo forellino della bobina, lo stesso cioè dal quale il filo è stato fatto uscire. Dopo essere rientrato in esso il filo uscirà infine dal terzo foro e riprenderà il suo senso di avvolgimento per costituire le spire seguenti sino alla prossima presa, ove si ripeterà l'operazione.

Il nostro schema riporta 4 prese su *L2*, ma dobbiamo avvertire che esse possono essere in numero maggiore o minore. Con diverse prese disponibili è più facile

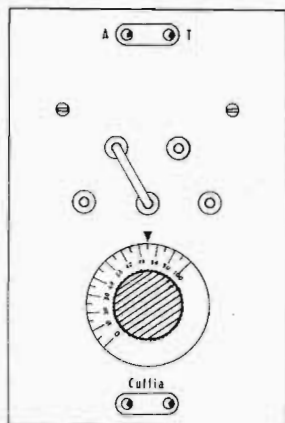



Fig. 4A - Veduta frontale del pannello di materiale isolante, dalle dimensioni di cm 10x15. Esso reca tutti i componenti e può fungere da chiusura di una cassettina.

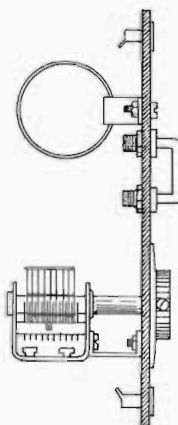



Fig. 4B - Il pannello-supporto visto di lato. Si noti la squadretta che distanzia il condensatore variabile per non obbligare al taglio del suo albero di comando.

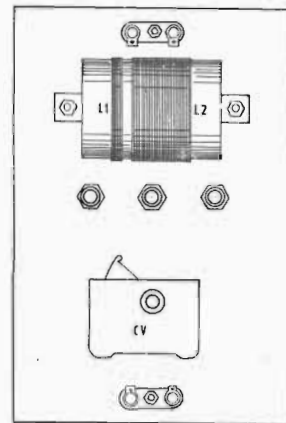



Fig. 4C - Il pannello visto da retro, prima dell'esecuzione dei collegamenti; nell'effettuare questi ultimi si collegheranno sia il diodo che il condensatore fisso.

adattare l'apparecchio ad una data stazione, di modo che, potendo riceverne più di una, si commuterà la presa a seconda della stazione e si raggiungerà sempre il risultato migliore.

Un numero maggiore di prese comporterà un numero maggiore di boccole, che saranno sistemate tutte a semicerchio tra quelle indicate, sicchè, col cavallotto facente sempre perno su quella centrale (boccola che è collegata al diodo rivelatore), si potrà stabilire il contatto con ognuna di esse (**figura 4**). Per contro, trovandosi in località ove è possibile la ricezione di un'unica stazione si può addirittura eliminare tutto ciò che riguarda tale commutazione, eseguendo una presa unica permanentemente collegata. Diamo, a **figura 5**, un esempio di questo caso; la figura illustra anche una diversa esecuzione del montaggio, che ha qui un carattere maggiormente sperimentale.

Si puo osservare chiaramente il particolare costruttivo di cui si è detto più sopra, relativo alla realizzazione delle prese sulla bobina (nel caso specifico: unione tra *L1* ed *L2*).

La scelta tra un montaggio del tipo riportato alla figura 4 e quello suggerito a figura 5 dipende dal fatto che si voglia costruire l'apparecchio per adibirlo realmente all'ascolto dei programmi oppure solo per sperimentare il circuito; quest'ultima ipotesi è quella che noi riteniamo più probabile perchè — come già abbiamo chiarito — si possono ottenere risultati più completi con successivi miglioramenti, consistenti soprattutto nell'aggiunta di amplificazione a *transistori*. La descrizione delle varianti da attuare a questo proposito, costituirà oggetto di una lezione nella quale saranno presentati sia ricevitori misti (diodi e transistori), sia apparecchi interamente a transistori, atti quasi tutti comunque, alla riproduzione in altoparlante.

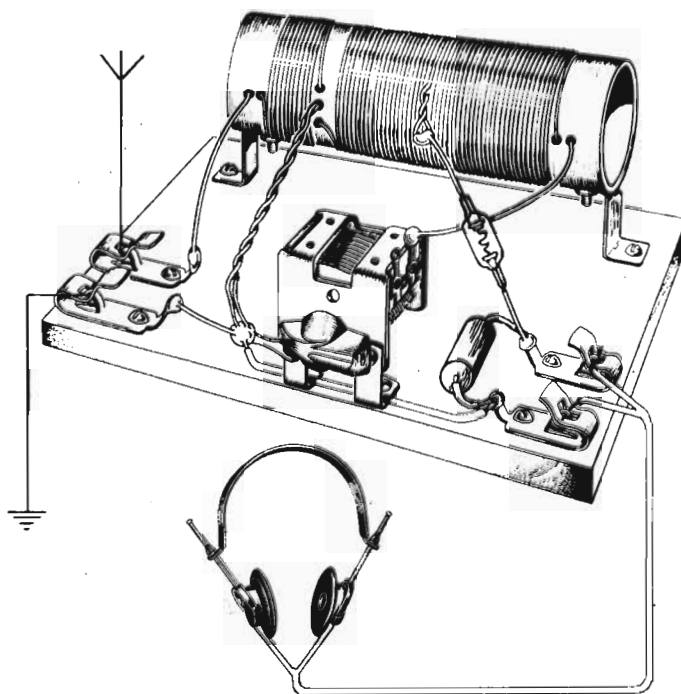



Fig. 5 - Montaggio a carattere sperimentale, su basetta di materiale isolante. La bobina può essere realizzata con tutte le prese indicate alla figura 3: individuata la presa migliore, si salderà definitivamente ad essa il diodo e si troncheranno gli spezzoni di filo delle altre.

MODELLO ad ALTA EFFICIENZA

Con l'impiego di alcuni componenti in più rispetto all'apparecchio sopra descritto è possibile costruire quest'altro modello che consente risultati migliori, sia per quanto riguarda la sensibilità che per quanto si riferisce alla selettività.

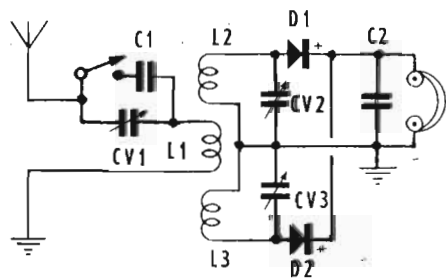



Fig. 6 - Schema elettrico del ricevitore a cristalli in controfase. Questo ricevitore permette risultati che nessun altro apparecchio a semplice cristallo può consentire; presenta sensibilità e selettività massime e con buona antenna rende possibile l'ascolto di un notevole numero di stazioni. Alla figura 7 — schema costruttivo — riportiamo l'elenco del materiale occorrente.

Grazie al ricorso a due cristalli rivelatori — che funzionani ognuno su una opposta semionda — si ottiene un segnale raddrizzato di ampiezza che, riferita a quella di un solo cristallo, risulta pressochè doppia. Avvertiamo subito però che il volume sonoro ottenibile non risulta anch'esso raddoppiato perchè a segnale elettrico doppio non corrisponde, per l'orecchio umano, una sensazione di suono pari a due volte il suono primitivo. Tuttavia, il miglioramento è notevole, ed apprezzabile soprattutto nei casi in cui si hanno risultati mediocri con altri ricevitori.

Vediamo ora lo schema riprodotto alla **figura 6**.

Lo scopo di queste prime costruzioni è soprattutto — come abbiamo già premesso — quello di avvicinare il lettore alle realizzazioni pratiche affinchè con le parti, i circuiti ecc. familiarizzi e acquisti la necessaria confidenza. Cio nondimeno, è indispensabile che egli si renda conto, nello stesso tempo, dello svolgersi dei fenomeni elettrici e della funzione che i singoli componenti compiono ai fini del risultato finale. Per il citato motivo l'esame dello schema sarà fatto in maniera comparata nei riguardi dello schema già esaminato, quello dell'apparecchio precedente.

Appare subito evidente che qui nel circuito d'antenna (*primario*) si effettua un accordo molto più accurato (mediante un organo aggiunto: *CV1*); la conseguenza è che al circuito ad esso accoppiato (*secondario*) viene trasferita maggiore energia dell'onda interessata e minore di quelle da eliminare (interferenti). In altre parole, ciò significa contemporaneo aumento di sensibilità e di selettività.

Lo scopo di *C1* — che a mezzo di un commutatore

può essere inserito o meno — è quello di modificare il valore di *CV1* (essendo connesso in parallelo, il valore viene aumentato) onde far sì che per tutta la gamma delle onde medie il circuito sia sintonizzabile. Date le costanti in giuoco (valore di *L1*, ecc.) tale accordo non sarebbe possibile col solo *CV1*. L'opportunità di inserire *C1* sarà vista in pratica: generalmente l'aggiunta si rivelerà utile per stazioni con frequenza più bassa di 850 kHz circa.

La particolarità più notevole del ricevitore non risiede però nell'accordo del circuito d'antenna testè visto, bensì nella presenza di due circuiti accordati al secondario (*L2—CV2* ed *L3—CV3*) il segnale dei quali viene rivelato indipendentemente con proprio rivelatore (*D1* e *D2*). L'onda in arrivo si presenta perciò con una semionda ai capi di *L2* e con la semionda seguente ai capi di *L3*: le due induttanze, o meglio i due circuiti accordati, devono possedere un punto in comune, che risulta essere quello a potenziale zero; esso corrisponde perciò a quello prescelto per la connessione cosiddetta di « massa », collegata opportunamente a terra.

delle caratteristiche, ma il prezzo risulta alquanto alto se riferito ai diodi singoli: per questa nostra applicazione, se si vuole economizzare, si può fare a meno della coppia già predisposta (ad esempio 1N35) e si possono acquistare i diodi semplici.

Il numero di spire di *L1* è di 45: quello di *L2* ed *L3* di 140 spire ciascuna. Le spire si intendono affiancate: lo spazio tra *L1* ed i due avvolgimenti ad essa accoppiati è di 3 mm. La **figura 7** riproduce in maniera molto chiara i collegamenti necessari nonchè le induttanze ora accennate, per eseguire le quali si avvolgerà il filo di rame smaltato, sempre nello stesso senso. Si raccomanda di collegare i due diodi rispettando il senso della polarità indicata ed adottando quelle precauzioni — per effettuare le relative saldature — che già sono state riferite.

Naturalmente anche qui si potrà dare al montaggio un aspetto di apparecchio finito — destinato cioè ad essere sempre usato — oppure l'aspetto di realizzazione sperimentale, vale a dire provvisoria. In entrambi i casi si avrà una guida nei disegni riportati per l'apparecchio

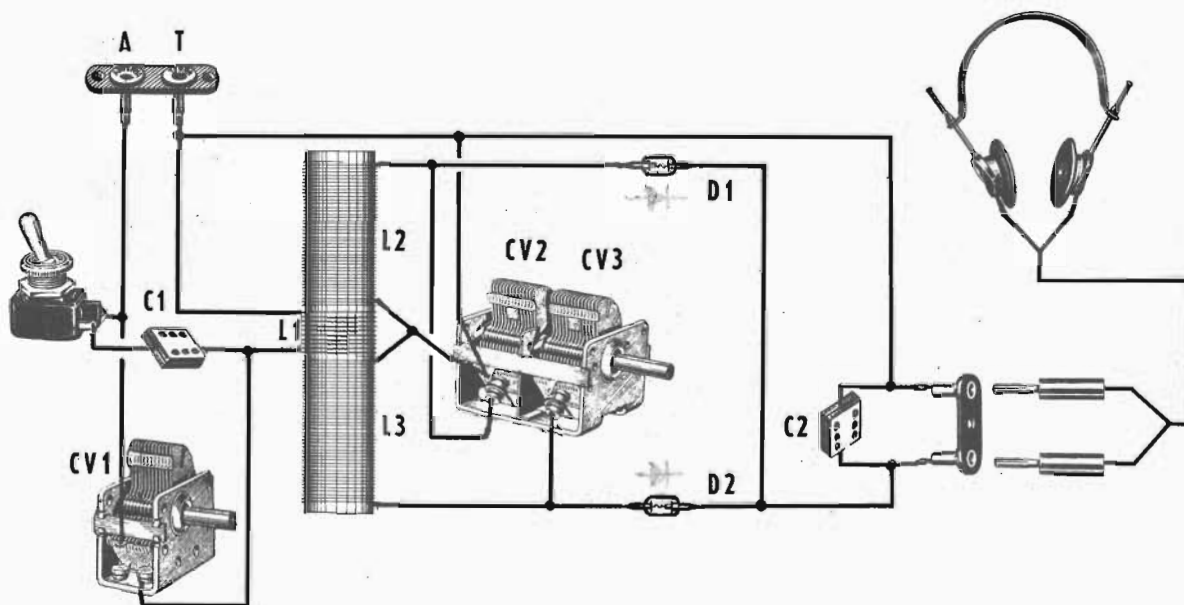



Fig. 7 - Schema corrispondente a quello di figura 6.

Elenco del materiale necessario:

1 tubo di cartone bachelizzato - diametro 2,5 cm - lunghezza 15 cm

filo di rame smaltato, m 30 circa - diametro 0,20 mm

1 condensatore variabile ad aria - CV1 - capacità pF 365

1 condensatore variabile ad aria, doppio - CV2/CV3 - capacità pF 365 + 365 pF

2 diodi a cristallo di germanio - D1/D2 - per rivelazione Alta Frequenza

1 cuffia magnetica, da 4000 ohm.

1 condensatore a mica - C1 - da 1000 pF

1 condensatore a mica - C2 - da 200 pF

1 commutatore a levetta

2 manopole o bottoni ad indice, per CV1 e CV2/CV3

Boccole, prese, squadrette di fissaggio, viti, spine, filo e stagno per collegamenti.

L'accoppiamento tra *L1* ed i due circuiti (*L2* ed *L3*) deve essere di pari grado: i due circuiti secondari identici tra loro, ed anche i rivelatori devono presentare spiccate caratteristiche di eguaglianza. Tutto ciò è facilmente ottenibile, come vedremo.

Anche per questo apparecchio la bobina di induttanza deve essere costruita appositamente. Il criterio costruttivo è analogo a quello della bobina già vista e non vi è, anzi, la complicazione delle prese intermedie.

I condensatori variabili eguali tra loro sono correntemente in commercio: il comando naturalmente è unico ed il tipo è detto « in tandem ». Vi sono anche coppie di diodi già selezionati per una eguaglianza notevole

più semplice: saranno sufficienti poche varianti dovute al diverso numero delle parti.

Col comando di *CV2/CV3* si individuerà la frequenza della stazione emittente; successivamente con quello di *CV1* si troverà la posizione di segnale massimo. Si controllerà infine se l'inclusione di C1 è utile o meno.

Come abbiamo premesso, la potenza ottenibile — in relazione anche al tipo di antenna adottato — è notevole, superiore senz'altro ad apparecchi semplici a cristallo. In molti casi, per le stazioni locali si può addirittura riuscire a far funzionare — in luogo della cuffia — un altoparlante, che naturalmente deve essere del tipo magnetico.

Saranno argomento di questo Corso, tra l'altro: **i transistori** questi nuovi, rivoluzionari organi delle più recenti realizzazioni dell'elettronica. L'impiego dei transistori si estende rapidamente: sono già numerosi i ricevitori e gli amplificatori in commercio che ne sono dotati e il loro numero è indubbiamente destinato ad accrescersi perchè i transistori sostituiranno con ampia percentuale, le valvole termoioniche. E' perciò necessario che il radiotecnico li conosca, sappia applicarli, si renda conto di quanto e di come differiscano dalle valvole, sia aggiornato nei tipi e nelle caratteristiche. Saranno descritti numerosi montaggi di ricevitori, trasmettitori e dispositivi elettronici da realizzare con l'impiego di transistori.

La modulazione di frequenza o F.M., come viene correntemente definita, è il sistema di trasmissione radiofonica che in questi ultimi anni è venuto ad affiancarsi a quello classico della modulazione di ampiezza. Che cosa sia la F.M., quali caratteristiche presenti, come funzionino e si realizzino i ricevitori per F.M. sarà ampiamente detto durante lo svolgimento del Corso. Oramai anche i ricevitori più economici sono caratterizzati dalla possibilità di ricezione della modulazione di frequenza: il radioamatore, e più ancora il radioriparatore, devono perciò rendersi pienamente consci della tecnica relativa, degli schemi, e dei particolari circuiti.

Un'altra tecnica in piena evoluzione è quella **dell'Alta Fedeltà**. Le esigenze per ciò che riguarda la fedeltà di riproduzione sonora sono notevolmente aumentate. Il materiale relativo alla sezione di Bassa Frequenza di molti ricevitori nonchè quello di appositi amplificatori, rivelatori e riproduttori si è andato e si va vieppiù affinando e perfezionando; ne risultano nuove tecniche, nuove disposizioni circuitali, nuovi accorgimenti che è duopo conoscere. Citiamo in proposito **la registrazione magnetica** che ha visto un rapido espandersi dei magnetofoni, cui fa riscontro, nella battaglia tra il nastro e il disco, il microsolco. Ora, entrambi hanno affinata la loro tecnica con la **riproduzione stereofonica.**

In questi ultimi tempi hanno fatto la loro comparsa ricevitori e amplificatori montati secondo il sistema dei **circuiti stampati.** Si tratta di pannelli caratterizzati dal fatto che i collegamenti necessari all'unione dei vari componenti sono già esistenti sul pannello stesso, sotto forma di un conduttore che viene ricavato seguendo alcune fasi della tecnica di stampa. E' evidente che un tale sistema — adottato anche parzialmente, e cioè in sole sezioni di un complesso — reca riduzioni di costo notevoli se l'apparecchio viene prodotto in grande serie. E' intuitivo anche che il tecnico debba d'ora in poi sapere quali sono i punti delicati e come ci si debba comportare nei confronti di questo nuovo metodo realizzativo. Il nostro Corso, al momento opportuno, affronta l'argomento e lo illustra nei suoi più minuti dettagli.

Una tra le più allettanti attività in campo radio è quella della **trasmissione dilettantistica.** Chiunque può ottenere la licenza di trasmissione previo un facile esame su argomenti e materia che il nostro Corso ampiamente espone ma esso, in proposito, non si limita alla preparazione per il superamento dell'esame: riporta descrizioni di trasmettitori e ricevitori appositi da realizzarsi, riporta le norme che regolano l'attività, le caratteristiche dei materiali idonei, indirizzi, prefissi, abbreviazioni, ecc. Va ricordato che questa della trasmissione, cioè delle comunicazioni a distanza tra amatori di tutto il mondo, è la forma più suggestiva e appassionante di attività radiotecnica; è proprio tale attività che assai spesso porta alla formazione dei più abili tecnici, come ampiamente l'esperienza dimostra. E' pertanto un passatempo del più alto valore istruttivo che molto spesso contribuisce anche al nascere di amicizie e relazioni con radioamatori di tutti i continenti.

Una forma particolare di detta attività può considerarsi poi il **radiocomando.** Anche in questo ramo sono numerosi gli appassionati. L'argomento non sarà quindi dimenticato nè per chi ha pratica di questa tecnica nè per chi ad essa vuole dedicarsi.

Ovviamente, un'importanza notevole riveste il settore degli strumenti e delle **apparecchiature di misura.** Senza di esse ogni attività e ogni nozione si può dire risulti vana e monca, nel nostro campo: il progettista quanto l'amatore, il riparatore quanto l'installatore e lo stesso commerciante evoluto, hanno necessità di eseguire controlli di efficienza, misure di rendimento, accertamenti, rilievo e ricerca di guasti, tarature, messe a punto ecc. e tutto, è noto, si svolge con l'ausilio degli apparecchi di misura. Naturalmente, per ogni categoria vi sono gli strumenti più indicati e noi di essi forniremo i dati costruttivi, la tecnica di impiego nonchè le norme d'uso sia per i singoli tipi, sia per i diversi impieghi. Tratteremo così della **taratura** e della **ricerca dei guasti.**

E' noto che i laboratori di ricerca applicata più progrediti e più famosi nel mondo sono quelli delle grandiose industrie statunitensi. Dall'U.S.A. ci provengono le notizie delle scoperte più sensazionali in campo radio e tutti quei nuovi dati, quelle norme e quegli schemi che alla scoperta fanno seguito allorchè questa passa alla fase di pratica attuazione e sfruttamento. Orbene, mentre può essere della più grande utilità per un tecnico conoscere la lingua inglese e seguire direttamente sulle riviste americane il progresso, non è detto che chi tale lingua non conosce, non possa sufficientemente interpretare schemi e brevi norme, solo che abbia la possibilità di ricorrere ad un **vocabolario tecnico dall'inglese all'italiano.** Pubblicheremo perciò, su ogni fascicolo, due pagine di vocaboli e termini tecnici con la relativa traduzione e siamo certi che ciò potrà più di una volta tornare utile anche a chi già conosce la lingua inglese.

E veniamo, in ultimo, ad un argomento che certamente il lettore si sarà meravigliato di non aver visto accennato prima: **la televisione.** A questo proposito il nostro programma è quanto mai impegnativo: esso è tale che non ci è consentita per il momento alcuna indiscrezione, soprattutto perchè sulla televisione serbiamo al lettore che ci vorrà seguire per qualche mese una importante e, siamo certi, graditissima sorpresa.

IMPORTANTE! : se vi interessano i prossimi fascicoli datene subito avviso al vostro giornalaio!

Per un anno, a domicilio, un completo Corso che vi costa un decimo di tutti gli altri Corsi

Vi formerete un volume di ben 1248 pagine: un prezioso manuale-enciclopedia di elettronica

corso di RADIOTECNICA

pubblicazione settimanale - 22 - 29 ottobre 1960 - un fascicolo lire 150 4° numero

corso di

RADIOTECNICA

settimanale a carattere culturale

Direzione, Amministrazione, Pubblicità:
Via dei Pellegrini 8/4 - Telef. 593.478
MILANO

Ogni fascicolo — contenente 3 lezioni — costa lire 150, acquistato alle edicole.

Se l'edicola risulta sprovvista, o si teme di rimanere privi di qualche numero, si chieda invio settimanale direttamente al proprio domicilio a mezzo abbonamento.

Il versamento per ricevere i 52 fascicoli costituenti l'intero Corso è di lire 6500 + I.G.E. = lire 6630. A mezzo vaglia postale, assegno bancario, o versamento sul conto corr. postale 3/41.203 del « Corso di RADIOTECNICA » - Via dei Pellegrini 8-4 - Milano.

In ogni caso, scrivere in modo molto chiaro e completo il proprio indirizzo.

L'abbonamento può essere effettuato in qualsiasi momento; si intende comprensivo delle lezioni pubblicate e dà diritto a ricevere tali lezioni, che saranno inviate con unica spedizione.

Estero: abbonamento al Corso, Lit. 8.500. ($ 15). Numeri singoli Lit. 300 ($ 0,50).

Per i cambi di indirizzo durante lo svolgimento del Corso, unire lire 100, citando sempre il vecchio indirizzo.

Fascicoli singoli arretrati — se disponibili — possono essere ordinati a lire 300 cadauno.
Non si spedisce contrassegno.

Distribuzione alle edicole di tutta Italia: Diffus. Milanese . Via Soperga, 57 - Milano.

Direttore responsabile: Giulio Borgogno.

Autorizzaz. N. 5357 - Tribunale di Milano.

Stampa: Intergrafica S.r.l. - Cologno Monzese.

La Direzione non rivende materiale radio; essa può comunicare, se richiesta, indirizzi di Fabbricanti, Importatori, Grossisti ecc. in grado di fornire il necessario ed ai quali il lettore può rivolgersi direttamente.

Alla corrispondenza con richiesta di informazioni ecc. si prega allegare sempre il **francobollo per la risposta.**

Parte del testo e delle illustrazioni è dovuta alla collaborazione del Bureau of Naval Personnel, nonchè al Dept. of the Army and the Air Force - U.S.A.

A chi può essere utile questo Corso? Anzitutto — stante la sua impostazione — il Corso, basato sull'esposizione in forma a tutti accessibile, della radiotecnica, dai suoi elementi basilari alla evoluzione più recente, rappresenta la forma ideale per tutti coloro che intendono dedicarsi all'elettronica, sia come forma ricreativa sia — soprattutto — per l'acquisizione di una professione specializzata che possa procurare loro una posizione di privilegio in seno alla società odierna.

Anno per anno, la nostra civiltà si indirizza sempre più verso questa meravigliosa, si potrebbe dire fascinosa, elettronica, che nel modo più evidente consente sviluppi impensati, progressi grandiosi e una rapida evoluzione di tutti gli altri rami dello scibile che essa tocca e influenza.

L'industria, tutta l'industria, nel senso più ampio, da quella elettrotecnica a quella meccanica, alla metallurgica, alla chimica ecc., con i suoi laboratori di ricerca e le sue fabbriche richiede, e richiederà sempre più, con un ritmo rapidamente crescente, tecnici specializzati con conoscenza dell'elettronica, tecnici specificatamente elettronici e persino operai e impiegati di ogni ordine e categoria con cognizioni di elettronica.

Si può dire che anche le branche commerciali, quelle dei trasporti e persino quelle amministrative con le recenti introduzioni delle calcolatrici, abbisognano di personale che conosca i principi dell'elettronica, le macchine relative, il loro pieno sfruttamento, la eventuale riparazione ecc. e, quanto più in modo completo, quanto meglio.

Nasce, da una tale situazione, una logica conseguenza: per la scelta di una professione o di un mestiere, per un miglioramento della propria posizione sociale, per l'intrapresa di una libera attività o anche per la sola acquisizione di cognizioni che indubbiamente verranno oltremodo utili, è quanto mai opportuno riflettere se non sia conveniente dedicare un po' di tempo allo studio di questa scienza che ha tra l'altro il pregio di rendersi immediatamente attraente, concreta, accessibile e foriera di moltissime soddisfazioni.

A questo scopo appunto, e con questi intenti, è stato redatto questo Corso.

Non mancano invero altri corsi (specie per corrispondenza) o scuole di radiotecnica, nè mancano (sebbene siano in numero del tutto inadeguato) scuole statali o pareggiate ma la struttura e l'impostazione che caratterizzano queste 156 lezioni sono alquanto particolari, presentando non pochi vantaggi sulle diverse altre forme di cui si è detto.

Anzitutto vogliamo porre in evidenza **il fattore economico.**

Frequentare regolarmente, durante tutto l'anno, una scuola è certo il modo più logico — anche se non il più rapido — per apprendere ma, tralasciando il fatto che rarissimi sono gli Istituti di radiotecnica, è a tutti possibile dedicarsi esclusivamente, e per l'intero anno, allo studio? Noi riteniamo che chi può farlo costituisca oggi assai più l'eccezione che la regola. Ciò significa infatti poter disporre liberamente del proprio tempo senza avere la necessità di un contemporaneo guadagno: il nostro Corso permette a chiunque di studiare a casa propria, nelle ore libere dal lavoro, senza abbandonare o trascurare quest'ultimo. Ciò caratterizza invero anche altri corsi, ma il vantaggio economico diviene notevole ed evidentissimo se si considera che di fronte all'esborso, anche se rateale, di quasi 80.000 lire che i corsi per corrispondenza richiedono, seguendo il nostro Corso la spesa in un anno risulta di poco più di 7500 lire (150 lire alla settimana presso un'edicola) o di 6630 lire totali, con recapito postale, settimanale, delle lezioni a domicilio.

E' superfluo dire che la Modulazione di Frequenza, i transistori, i circuiti stampati, la trasmissione, il telecomando ecc. sono argomenti integrali del Corso e non costituiscono motivo di corsi speciali, aggiunti o particolari.

Le lezioni di questo Corso — a differenza di molte altre — non sono stampate con sistemi di dispensa, a ciclostile, o con sistemi più o meno analoghi, derivanti cioè da un originale battuto a macchina da scrivere; esse sono stampate in uno stabilimento grafico, con chiari caratteri tipografici da cui deriva una assai più agevole lettura e — fattore certamente di non secondaria importanza — un contenuto molto più ampio, corrispondendo una pagina a stampa a tre o quattro pagine di quelle citate. Il lettore avrà, alla fine del Corso, un volume di ben 1248 pagine di grande formato!

Chiunque, indipendentemente dall'età, dalla professione e dalle scuole compiute **può seguire il Corso.** Alle esposizioni teoriche si abbinano numerose, attraenti, istruttive ed utili descrizioni che consentono la realizzazione di ricevitori, amplificatori, strumenti vari e persino di trasmittenti su onde corte.

A questo proposito è sintomatico il fatto che la Direzione non vuole assolutamente assumere la fisionomia di un fornitore o commerciante di materiale radio, rivendendo agli allievi le parti necessarie. Il materiale occorrente l'interessato può acquistarlo dove e come meglio crede e, assai spesso anzi, già ne dispone. Viene così evitato l'acquisto forzoso, caratteristico più o meno di tutti gli altri corsi.

Anche chi è già radiotecnico, anche chi ha seguito o segue altri corsi troverà il massimo tornaconto in questo completo ed aggiornato lavoro. Molte nozioni, è logico, saranno note, altre un po' meno e sarà utile rinfrescarle, e il tutto infine costituirà un manuale di consultazione, prezioso tanto per la teoria esposta quanto per i numerosi schemi, per le tabelle, per i grafici, gli elenchi, i dati, il vocabolario dei termini ecc.

Concludendo, si può affermare che questo **Corso di Radiotecnica** oltre che come insegnamento graduale si presenta come **enciclopedia e rivista assieme** ciò che permette di formare — con modestissima spesa — **il più completo, ricco, utile e pratico volume di radiotecnica di cui sia dato oggigiorno disporre.**

LA LEGGE di OHM

CIRCUITO ELETTRICO

Per circuito elettrico, come abbiamo brevemente accennato alla quarta lezione, si intende un percorso predisposto affinchè circoli in esso la corrente elettrica.

L'energia elettrica può essere trasmessa, in maniera efficiente, e con sistemi di controllo relativamente semplici, attraverso circuiti conduttori; le vaste reti di distribuzione dell'energia oggi usate per fornirla a città e paesi, sono una dimostrazione pratica del sistema di distribuzione a mezzo di circuiti.

Per circuito elettrico non deve intendersi però solo una rete di distribuzione di energia: anche un percorso ben definito, di pochi centimetri, costituisce un circuito.

Nel circuito elettrico troviamo spesso elementi vari, variamente disposti, utili o dannosi ai fini per i quali il circuito è stato realizzato.

Quando, per una causa fortuita, la corrente evita il percorso stabilito e circola su di un percorso più breve e ad essa inadeguato, si dice che si è verificato un *cortocircuito*, — in altre parole un circuito troppo breve — che porta spesso a conseguenze non desiderate e del quale abbiamo già fatto cenno parlando dei materiali isolanti, i quali sono impiegati appunto per impedire i cortocircuiti.

L'energia elettrica si manifesta sempre in un circuito elettrico chiuso, (vedi **figura** 1), il quale, nella sua forma più semplice, consiste nel generatore dell'energia, (a due terminali), in un carico che utilizza la corrente (avente anch'esso due terminali), e in due conduttori che la portano dal generatore al carico, come è illustrato nella **figura 2.**

I tre tipi principali di circuiti elettrici sono:

1) **circuiti in serie,**
2) **circuiti in parallelo** e
3) **circuiti in serie-parallelo.**

Il primo tipo è costituito da elementi tutti in serie tra loro, (ossia uno di seguito all'altro), ed il percorso della corrente è unico (**figura 3**); il secondo è costituito da elementi tutti in parallelo tra loro, (ossia ognuno sommato agli altri) e la corrente compie più di un percorso, (**figura 4**), ed infine il terzo è una combinazione dei due precedenti (**figura 5**).

Anche nell'analisi del circuito elettrico più semplice è necessaria, ovviamente, la conoscenza delle particolari unità pratiche di misura, (il volt, (*E*), l'ampère (*I*), l'ohm (*R*) ed il watt (*W*), unità di cui abbiamo appreso il significato alle nostre precedenti lezioni. Compito della lezione presente è quello di chiarire le relazioni esistenti tra dette unità, e specialmente tra *E*, *I*, ed *R*, relazioni normalmente conosciute nell'assieme come **legge di Ohm**, per ciò che concerne i circuiti semplici, e *leggi di Kirchoff* nei riguardi dei circuiti complessi che vedremo in seguito.

LA LEGGE di OHM

Nel secolo XIX, un filosofo tedesco, George Simon Ohm, dimostrò per via sperimentale la proporzionalità costante tra la corrente elettrica e la tensione nel circuito semplice, e nel 1826 pubblicò i risultati delle sue scoperte.

La legge di Ohm è fondamentalmente lineare e quindi semplice ed esatta, e può essere applicata nella sua forma basilare ai circuiti a corrente continua e a tutti i dispositivi che tale corrente utilizzano.

L'unità di resistenza elettrica, come già sappiamo, si chiama Ohm (viene normalmente rappresentata dalla lettera greca *« omega »* Ω), e trova ampia applicazione nel campo delle sorgenti e dei carichi, e nei conduttori usati nei circuiti elettrici ed elettronici.

La legge di Ohm può essere espressa come segue:

L'intensità della corrente, in ampère, presente in qualsiasi circuito elettrico corrisponde alla differenza di potenziale, in volt, presente ai capi del circuito stesso, divisa per la sua resistenza, in ohm.

La medesima legge può essere espressa dalla seguente formula:

$$I = \frac{E}{R}$$

Nella quale *I* è l'intensità della corrente in ampère, *E* la differenza di potenziale in volt, *R* la resistenza in ohm.

Se uno dei tre valori è incognito, esso può essere facilmente individuato mediante tale formula, come vedremo tra breve.

Supponiamo ora che la tensione presente ai capi del carico nel circuito illustrato alla figura 2 sia di 120 volt, e la resistenza effettiva di detto carico sia di 20 ohm: la corrente che lo percorre sarà data perciò dal rapporto 120:20, ossia 6 ampère, e se la resistenza effettiva mantiene costante il suo valore di 20 ohm, in conformità della legge di ohm la corrente raddoppia se raddoppia la tensione, e diventa la metà se anche la tensione viene dimezzata.

In altre parole, la corrente che percorre il carico varia in maniera direttamente proporzionale col variare

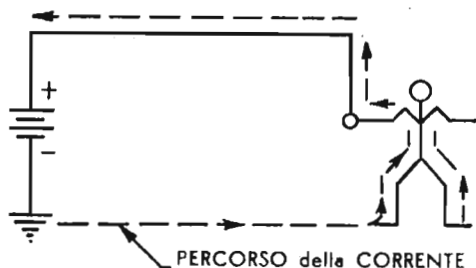



Fig. 1 - Se la sorgente di energia ha un polo collegato « a terra », è possibile avvertire il passaggio della corrente anche toccando un solo polo, in quanto il circuito viene chiuso mediante il contatto dei piedi col pavimento

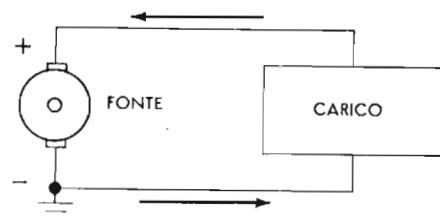



Fig. 2 - Il circuito elettrico più semplice consta di una fonte di energia, di due conduttori che la trasportano, e di un carico che la utilizza.

della tensione, per cui, se detta tensione viene ridotta a 0, la corrente corrisponderà a 0:20 ossia 0 ampère, e se viene aumentata, ad esempio, di 10 in 10 volt cominciando da 0 fino ad un massimo di 120 volt, la corrente assumerà i seguenti valori:
10 : 20 = 0,5 ampère; 20 : 20 = 1,0 ampère; 30 : 20 = = 1,5 ampère, e così via.

La **figura 6** illustra la relazione che intercorre tra la corrente e la tensione, enunciata nell'esempio precedente; i valori di tensione sono rappresentati orizzontalmente, (lungo l'asse X), alla destra del punto di origine, mentre i valori corrispondenti di corrente sono rappresentati verticalmente (lungo l'asse Y), al di sopra del medesimo punto (*).

Il grafico assume l'aspetto di una linea retta la cui equazione corrisponde a

$$I = E : 20.$$

Il numero costante 20 rappresenta la resistenza in ohm del circuito, che si è presunta in 20 ohm, come si è detto, e che in questo esempio si suppone non subisca variazioni col variare della corrente. Il grafico illustra l'importante caratteristica della legge in questione, di cui si è già detto, e cioè che *se la resistenza è costante, la corrente varia direttamente col variare della tensione.*

Se nel caso della figura 2 si mantiene invece la tensione ad un valore costante (ad esempio: 120 volt), la corrente che percorre il carico dipenderà unicamente dal valore effettivo della resistenza. Se la resistenza ammonta a 120 ohm, la corrente sarà data da 120:120, ossia 1 ampère, come pure, se detta resistenza verrà dimezzata, la corrente sarà raddoppiata e viceversa. In altre parole: la corrente varia in maniera inversamente proporzionale rispetto alla resistenza, e se quest'ultima viene ridotta di 20 ohm alla volta partendo dal valore di 120 ohm, fino ad un minimo di 20 ohm, la corrente assumerà i seguenti valori:
120 : 100 = 1,2 ampère; 120 : 80 = 1,5 ampère;
120 : 60 = 2 ampère e così via.

La **figura 7** illustra la rappresentazione grafica della relazione tra la corrente e la resistenza, relazione che può essere espressa dall'equazione

$$I = 120 : R$$

nella quale il numeratore rappresenta il valore di 120 volt dell'esempio citato, e coll'approssimarsi di R ad un valore piccolo, la corrente I si approssima ad un valore molto grande. Tale esempio illustra una seconda caratteristica importante della legge di Ohm, ossia che *la corrente varia in maniera inversamente proporzionale rispetto alla resistenza.*

Se infine, nella figura 2 la corrente venisse mantenuta ad un valore costante di 5 ampère, la tensione dipenderebbe dalla resistenza del carico di cui seguirebbe direttamente le variazioni, e la **figura 8** illustra le relazioni tra tensione e resistenza in tale esempio: infatti, i valori di resistenza vengono rappresentati orizzontalmente, lungo l'asse X, a destra del punto di origine, mentre i valori corrispondenti di tensione vengono rappresentati lungo l'asse verticale Y, al disopra del medesimo punto. Il grafico risultante assume l'aspetto di una linea retta che corrisponde all'equazione

$$E = 5 \times R$$

nella quale il coefficiente 5 rappresenta il valore di 5 ampère che nell'esempio viene considerato costante, per cui ciò illustra una terza caratteristica importante, ossia che *la tensione presente ai capi del carico varia in maniera direttamente proporzionale rispetto alla sua resistenza,* purchè la corrente sia mantenuta ad un valore costante.

APPLICAZIONE della LEGGE di OHM

L'equazione della legge di Ohm $I = E:R$ può essere trasformata — come abbiamo già accennato — per calcolare la resistenza se, sia la corrente che la tensione sono note, oppure per calcolare la tensione se sono noti i valori di corrente e di resistenza, per cui può assumere le espressioni

$$R = E : I$$
$$\text{ed } E = I \times R.$$

Ad esempio, se la tensione presente ai capi di un circuito è di 50 volt, e la corrente che lo percorre è di 2 ampère, la resistenza sarà eguale a ($E : I$) 50:2, ossia 25 ohm; inoltre, se la corrente che percorre un conduttore è di 3 ampère, e la resistenza del conduttore è di 0,5 ohm, la caduta di tensione ai suoi capi sarà eguale a ($I \times R$) 3 × 0,5 ossia 1.5 volt.

(*) *Per illustrare l'andamento di un fenomeno si ricorre spesso ai grafici del tipo riportato a fig. 6 e seguenti. Lungo una retta orizzontale (detta asse delle X) e lungo una verticale (asse delle Y) si segnano valori prestabiliti delle unità di misura che interessano il fenomeno. I dati rilevati in tempi successivi sono localizzati rispetto alle due rette e segnati con un punto: l'unione dei diversi punti dà luogo ad una linea (detta « curva ») che rispecchia l'andamento del fenomeno.*

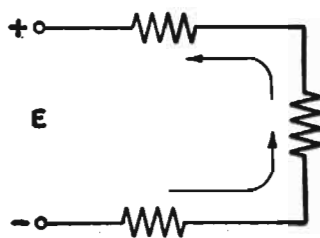



Fig. 3 - Schema classico di collegamento elettrico « in serie »: le tre resistenze sono unite una a seguito dell'altra. Il percorso della corrente è unico.

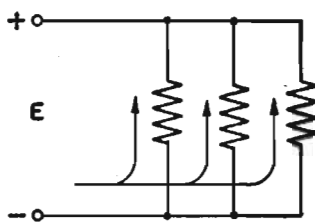



Fig. 4 - Schema classico di collegamento elettrico « in parallelo »: le tre resistenze sono in derivazione l'una rispetto all'altra. La corrente ha tre percorsi.

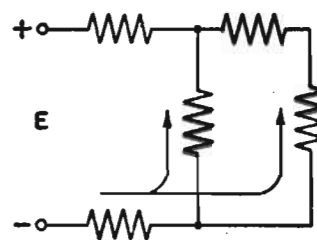



Fig. 5 - Schema classico di collegamento elettrico misto: le resistenze sono unite tra loro in varie combinazioni serie-parallelo.

La formula base — e le sue successive trasformazioni — possono essere ottenute rapidamente con l'aiuto della **figura 9.** Il circolo contenente E, I ed R, è diviso in due parti in modo che *E* si trovi al disopra della linea, ed *IR* al disotto: per determinare il valore incognito, è necessario innanzitutto coprire la lettera relativa con un dito: la reciproca posizione delle due lettere rimanenti nel circolo indicherà l'operazione aritmetica da effettuarsi per calcolare il valore della prima.

Ad esempio, per trovare *I*, coprire tale lettera con un dito: le lettere rimaste scoperte indicheranno che *E* deve essere divisa per *R*, ossia $I = E : R$.

Per trovare *E*, coprire tale lettera, ed apparirà evidente che *I* deve essere moltiplicata per *R*, ossia che

$$E = I \times R.$$

Infine, per trovare *R*, si noterà che *E* deve essere divisa per *I*, ossia che $R = E : I$.

Avvertiamo il lettore che, nella trasposizione della formula, non deve basarsi esclusivamente su tale grafico, bensì deve usarlo come supplemento alla sua conoscenza del metodo algebrico, in quanto l'algebra è un elemento basilare nella soluzione dei problemi di carattere elettrico e l'importanza di conoscerne l'uso non deve essere menomata o trascurata a causa della conoscenza di un metodo mnemonico come quello ora descritto ed illustrato. Per il motivo di cui sopra abbiamo ritenuto utile, perciò, di corredare il nostro Corso con brevi cenni relativi a quella matematica elementare che — potendo essere seguita da tutti — riuscirà di grande aiuto certamente a tutti i nostri lettori.

CONDUTTANZA

La resistenza è stata definita come un'opposizione al passaggio della corrente: ora, invece di valutare un conduttore in base all'ammontare dell'opposizione offerta, si può valutarlo in base alla possibilità che esso offre alla corrente di scorrere, ossia in base alla *conduttanza*, la quale è appunto la misura della possibilità alla quale abbiamo fatto cenno.

La conduttanza è quindi l'opposto della resistenza, e poichè quest'ultima viene espressa in ohm, la prima viene espressa in *mho* (inversione della parola ohm), ed è contrassegnata dalla lettera *G*, per cui

$$G = 1 : R$$

Secondo la legge di Ohm, la tensione viene divisa per la resistenza per trovare la corrente ($I = E : R$), e poichè *G* è il contrario di *R*, avremo

$$I = E \times G.$$

In elettronica si usa frequentemente una piccola unità di conduttanza, detta *Micromho,* che equivale alla millionesima parte di un Mho.

POTENZA ed ENERGIA ELETTRICA

In aggiunta al volt, all'ampère e all'ohm, vi sono due unità di misura che si presentano frequentemente nei calcoli relativi ai circuiti elettrici, ossia l'unità di potenza e l'unità di energia.

Potenza

Probabilmente a chi non è tecnico il concetto di potenza è più noto di quello di tensione, corrente o resistenza: l'elettricità è una sorgente di potenza in quanto si può fare in modo che essa compia un lavoro, come ad esempio, far ruotare un motore, o — come abbiamo già visto a pag. 34 — produrre calore in una resistenza, come avviene in un comune saldatore elettrico. Per potenza si intende la quantità di lavoro che può essere prodotto, però — come vedremo — non si considera solo il lavoro fatto o da fare, ma anche il tempo impiegato affinchè il lavoro sia svolto.

L'unità di potenza elettrica (il **watt**) corrisponde al prodotto tra il potenziale (in volt) applicato al circuito, e la corrente (in ampère) che scorre in quest'ultimo, per cui l'equazione della potenza è

$$P = E \times I$$

Un potenziale di 110 volt che provochi una corrente di 3 ampère in una resistenza, trasforma l'energia elettrica in calore con un ammontare di 110 volte 3, ossia 330 watt, per cui, essendo, come si è ora visto

$$P = E \times I \quad \text{e poichè} \quad E = I \times R$$

sostituendo il valore di *E* col valore $I \times R$, avremo

$$P = I \times R \times I \quad \text{ossia} \quad P = I^2 \times R$$

Questa particolare espressione della equazione della potenza, — dalla quale si rileva che la potenza in watt in un circuito varia col quadrato della corrente in ampère e con la resistenza in ohm — è molto utile in elettronica. Una corrente di 4 ampère in una resistenza di 2 ohm converte l'energia elettrica in energia termica con un rapporto di 16 volte 2, ossia 32 watt.

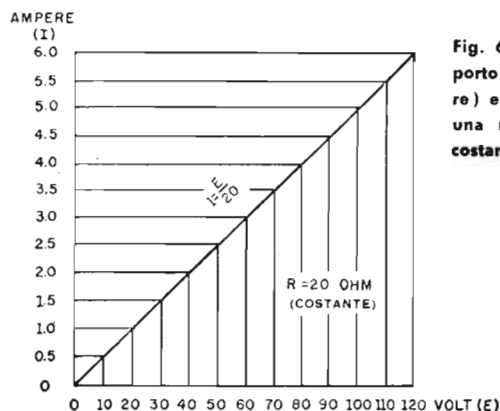



Fig. 6 - Esempio del rapporto tra corrente (ampère) e tensione (volt), con una resistenza del valore costante di 20 ohm.

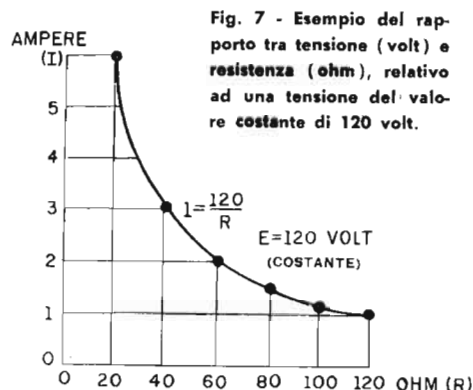



Fig. 7 - Esempio del rapporto tra tensione (volt) e resistenza (ohm), relativo ad una tensione del valore costante di 120 volt.

Dalla legge di Ohm si può ricavare un'altra versione dell'equazione della potenza:

poichè $P = E \times I$ ed essendo $I = \dfrac{E}{R}$

si ha $P = E \left(\dfrac{E}{R}\right)$ ossia $P = \dfrac{E^2}{R}$

Se E è eguale a 50 volt ed R a 40 ohm, si ha

$$P = \frac{50^2}{40} = 62{,}5 \text{ watt}$$

Tra le due formule che danno il valore di P conviene usare evidentemente quella che si adatta meglio al problema.

Non sempre l'energia elettrica viene trasformata in calore: ad esempio, la maggior parte della energia usata per azionare un motore viene convertita in energia meccanica; quella applicata ad un altoparlante o ad una cuffia viene convertita in onde sonore, ed infine una parte dell'energia fornita ad un radiotrasmettitore viene convertita in radioonde.

Dall'ultima equazione si può rilevare che *la potenza in watt fornita ad un circuito varia in maniera direttamente proporzionale rispetto al quadrato della tensione in volt, ed inversamente proporzionale rispetto alla resistenza in ohm.*

La **figura 10** costituisce l'espressione grafica di detta equazione: infatti, la tensione è rappresentata lungo l'asse X, mentre i valori corrispondenti di potenza in watt sono rappresentati verticalmente, lungo l'asse Y. L'equazione $P = E^2 : 20$ rappresenta la relazione tra la tensione applicata e la potenza in un circuito semplice analogo a quello della figura 2, nel quale la resistenza ha il valore costante di 20 ohm. La tensione viene aumentata di 20 in 20 volt partendo da 0 e fino ad un massimo di 100 volt, ed i valori corrispondenti di potenza vengono calcolati mediante l'ultima formula, per cui si ha:

$$\frac{(0)^2}{20} = 0 \text{ watt}; \quad \frac{(20)^2}{20} = 20 \text{ watt}; \quad \frac{(40)^2}{20} = 80 \text{ watt},$$

e così via.

Tale grafico mette in rilievo il fatto che la potenza in watt fornita al circuito — come si è già detto — varia col quadrato della tensione applicata.

Il grafico della figura 10 costituisce, però, anche la espressione dell'equazione $P = (I)^2 \times 20$ in quanto, in questo caso, la corrente è rappresentata orizzontalmente lungo l'asse X, a destra del punto di origine, partendo da 0 ampère, ed aumentando di 1 ampère alla volta fino ad un massimo di 5 ampère, mentre i valori corrispondenti di potenza vengono rappresentati lungo l'asse Y, al disopra di detto punto. Tali valori vengono calcolati mediante la sostituzione suddetta, nel modo seguente:

$(1)^2 \times 20 = 20$ watt; $(2)^2 \times 20 = 80$ watt;
$(3)^2 \times 20 = 180$ watt e così via.

E' importante notare che i grafici relativi alle equazioni $P = \dfrac{E^2}{R}$ e $P = I^2 \times R$ non sono lineari, in quanto la potenza varia sia col variare del quadrato della tensione applicata, sia col variare del quadrato della corrente, ed è altrettanto importante notare che, come appare evidente dall'equazione $P = \dfrac{E^2}{R}$, la potenza fornita ad un circuito la cui tensione è costante, varia in maniera inversamente proporzionale alla sua resistenza, per cui, se la tensione fornita ad un circuito semplice analogo a quello della figura 2 ha il valore costante di 100 volt, e se la resistenza viene diminuita da 20 a 10 ohm, la potenza fornita aumenta da

$$\frac{(100)^2}{20} = 500 \text{ watt a } \frac{(100)^2}{10} = 1.000 \text{ watt,}$$

per cui, se la resistenza viene dimezzata, la potenza raddoppia.

Si noti appunto in questo esempio che la reciproca relazione non è lineare.

La **figura 11** esprime graficamente l'equazione $P = \dfrac{(100)^2}{R}$, e rappresenta la relazione che sussiste tra potenza e la resistenza in un circuito al quale è applicata la tensione costante di 100 volt.

I valori di resistenza sono rappresentati lungo l'asse X, mentre i valori corrispondenti di potenza sono rappresentati lungo l'asse Y. La resistenza viene variata

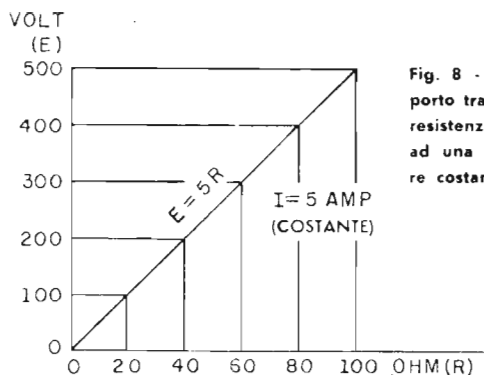
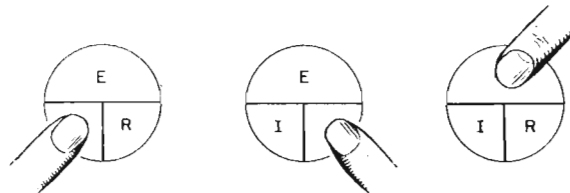



Fig. 8 - Esempio del rapporto tra tensione (volt) e resistenza (ohm), relativo ad una corrente del valore costante di 5 ampère.

Fig. 9 - Per conoscere la relazione che intercorre tra due delle grandezze I, E ed R, basta coprire quella di valore incognito ed osservare la posizione reciproca delle 2 rimanenti.

di 100 ohm per punto partendo dal valore di 100 ohm, fino ad un massimo di 1.000, ed i corrispondenti valori di potenza vengono calcolati come segue:

$$\frac{(100)^2}{100} = 100 \text{ watt}; \quad \frac{(100)^2}{200} = 50 \text{ watt}; \quad \frac{(100)^2}{300} = 33{,}3 \text{ watt},$$

e così via.

Tale grafico mette anch'esso in evidenza la relazione non lineare tra resistenza e potenza in un circuito a tensione costante: man mano che la prima si approssima ad un valore molto piccolo, la seconda si approssima ad un valore molto grande, e viceversa.

Contrariamente a tale relazione, la potenza, in un circuito a corrente costante varia direttamente con la resistenza, come è illustrato dal grafico della figura 12. In tale esempio, la corrente viene mantenuta al valore costante di 5 ampère, mentre la resistenza viene aumentata di 1 ohm per punto, fino ad un valore massimo di 10 ohm. Tali valori vengono rappresentati lungo l'asse *X*, e quelli corrispondenti di potenza lungo l'asse *Y*, e vengono calcolati come segue:

$P = (5)^2 x 0 = 0$ watt; $(5)^2 x 1 = 25$ watt; $(5)^2 x 2 = 50$ watt e così via.

Il grafico mette in evidenza la relazione lineare tra potenza e resistenza in un circuito a corrente costante.

Energia

Viene definito energia ciò che è in grado di compiere un lavoro. In meccanica si intende per lavoro il prodotto tra la forza e la distanza lungo la quale essa agisce, mentre nelle unità elettriche pratiche, l'energia corrisponde al **prodotto della potenza in watt per il tempo in ore**. Dal momento che la potenza è la misura del lavoro compiuto, la sua moltiplicazione per il tempo dà per risultato un prodotto corrispondente all'energia totale considerata, per il periodo di tempo rappresentato dal fattore *t*.

E' facile ottenere l'equazione dell'energia moltiplicando entrambi i membri dell'equazione della potenza ($P = E \times I$) per il fattore comune di tempo *t*, ed eguagliando tale espressione alla energia *W* come segue:

$$W = Pt = E \times I \times t$$

Analogamente, entrambi i membri delle equazioni

$$P = E^2 : R \quad \text{e} \quad P = I^2R$$

possono essere moltiplicati per il fattore di tempo *t*, e quindi eguagliati all'energia *W* come segue:

$$W = E^2 : Rt \quad \text{e} \quad W = I^2Rt$$

Nelle equazioni dell'energia ora viste *E* è espressa in in volt ed *I* in ampère. Se *t* è espresso in ore, *W* esprime il valore in **wattore**.

Se *t* è espresso **in secondi, *W* rappresenterà** il valore in watt secondi o **joules** (1 joule equivale ad 1 watt al secondo).

Dal momento che (vedi pag. 31) $I \times t = Q$ in cui *Q* è espresso in coulomb, *I* in ampère, *t* in secondi), è possibile sostituire *Q* al posto di $I \times t$ ricavando così la seguente equazione:

$$W = QE$$

nella quale *W* è l'energia in joules, *Q* la quantità di corrente in coulomb, ed *E* la tensione in volt.

L'energia elettrica viene comprata e venduta in unità di kilowattore (3.600×10^3 joules) e, nelle grosse centrali di produzione dell'energia elettrica, viene totalizzata in megawattore (3.600×10^6 joules). Ad esempio, se in un periodo di 10 ore vengono assorbiti in media 70 megawatt all'ora, l'energia totale erogata corrisponde a $70 \times 10 = 700$ megawattore. Tale ammontare è equivalente a $700 \times 1.000 = 700.000$ kilowattore, oppure a $700 \times 3.600 \times 10^6 = 2.520.000 \times 10^6$ joules. L'unità più pratica da usare dipende in parte dall'ammontare della quantità di energia considerata, ed in quest'ultimo esempio la più pratica è il megawattore.

ESEMPI di IMPIEGO della LEGGE di OHM

E' sufficiente un breve sguardo al campo dell'elettrotecnica per individuare un'ampia varietà di problemi riguardanti la legge di Ohm ed i rapporti di potenza: consideriamo uno degli esempi più comuni, e precisamente quello delle lampade ad incandescenza usate nei circuiti a potenziale costante sia nelle case che nelle fabbriche, le cui caratteristiche sono espresse in volt ed in watt. Quanta corrente consumano? Qual'è la loro resistenza? Se esse sono ad alta luminosità, possono consumare diversi ampère, mentre se sono di basso wattaggio, possono consumare soltanto una frazione di ampère. Per essere precisi, il consumo di corrente da parte di una lampada da 100 watt, 120 volt, può essere calcolato facilmente utilizzando la formula

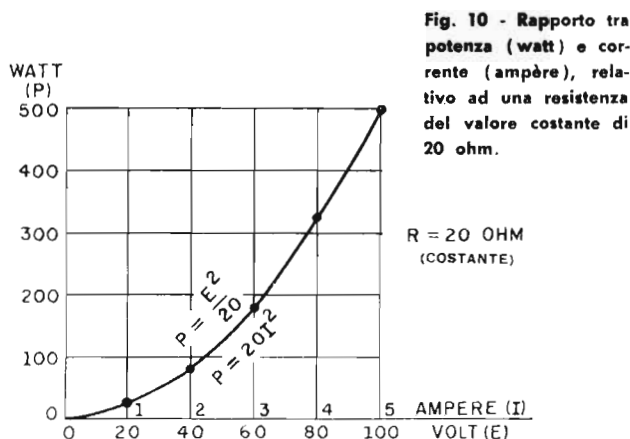



Fig. 10 - Rapporto tra potenza (watt) e corrente (ampère), relativo ad una resistenza del valore costante di 20 ohm.

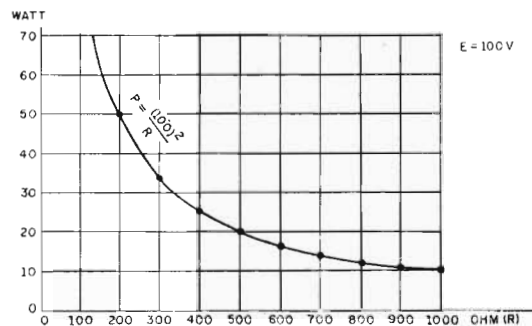



Fig. 11 - Rapporto tra potenza (watt) e resistenza (ohm), relativo ad una tensione del valore costante di 100 volt.

$$I = \frac{P}{E} = \frac{100}{120} = 0{,}833 \text{ ampère}$$

e la resistenza di tale lampada durante il funzionamento può essere calcolata sostituendo il valore della corrente e quello della tensione nella formula

$$I = E : R$$

e quindi risolvendo rispetto ad R, per cui

$$R = \frac{E}{I} = \frac{120}{0{,}833} = 144 \text{ ohm}$$

Da ciò deduciamo che una lampada da 100 watt, 120 volt, consuma 0,833 ampère ed ha una resistenza, a caldo, di 144 ohm. Quanto costa dunque l'uso di tale lampada per quattro ore ogni sera, per 30 giorni, a 40 lire per kilowattore? Non molto, come si dimostra col seguente calcolo

$$\text{kilowattore totali} = Pt = \frac{100 \times 4 \times 30}{1.000} = 12$$

Costo totale = 40 x 12 = 480 lire.

Nell'operazione di cui sopra (ed in quella che segue) la potenza anzichè in watt è espressa in kilowatt (1000 watt); per questo motivo l'operazione contempla la divisione per 1000 e reca tale numero quale divisore (denominatore della frazione).

Consideriamo il costo di funzionamento di un condizionatore d'aria funzionante a 120 volt con consumo di 9,4 ampère, per 10 ore giornaliere e per 30 giorni.

La potenza in kilowatt ammonta a

$$P = \frac{EI}{1.000} = \frac{120 \times 9{,}4}{1.000} = 1{,}128 \text{ kw}$$

Il consumo totale è 1,128 x 30 x 10 = 338,4 kw/h, ed al prezzo di L. 40 al kw/h. si ha 338,4x40 = 13.216 lire.

Le stufe elettriche domestiche richiedono circuiti appositamente previsti, come si può notare ad esempio dall'ammontare della corrente consumata con un carico di 7,5 kw a 220 volt, con tutti gli elementi in pieno funzionamento.

Il consumo di corrente viene calcolato come segue:

$$I = \frac{P}{E} = \frac{7.500}{220} = 34 \text{ ampère}$$

Poichè la maggior parte dei contatori domestici non permette un'erogazione superiore a 20 ampère, la possibilità di impiego di un carico che consumi 34 ampère richiede ovviamente l'istallazione di circuiti speciali, ed è inoltre importante notare che la disponibilità di una tensione di 220 volt invece che di 110 permette l'impiego di conduttori più sottili in quanto, per una data potenza, la corrente varia in proporzione inversa rispetto alla tensione. Per questo motivo, la medesima stufa alimentata a 110 volt, consumerebbe 68 ampère in luogo dei 34 prima ricavati con la formula.

Per chiarire ulteriormente il rapporto inverso tra tensione e corrente per una data potenza, consideriamo il consumo di una lampada da 100 watt alimentata a 6 volt, il quale consumo è dato da

$$I = P : E = 100 : 6 = 16{,}6 \text{ ampère}$$

Ossia, un ampèraggio venti volte maggiore di quello di una lampada da 100 watt alimentata a 120 volt, che abbiamo visto essere di 0,833 ampère.

E' molto importante che ogni lampada ad incandescenza venga alimentata con la sua tensione corretta in quanto qualsiasi aumento di tensione, sia pure istantaneo, ne diminuirebbe notevolmente la durata. Ad esempio, l'aumento di tensione da 110 a 140 volt per una lampada da 25 watt a 110 volt, provocherà un aumento della corrente da

$$\frac{25}{110} = 0{,}228 \text{ ampère, a } \frac{140}{110} \times 0{,}228 = 0{,}293 \text{ ampère}$$

e poichè la potenza dissipata varia col quadrato della tensione applicata, l'aumento della tensione applicata, da 110 a 140 volt, aumenterà la potenza a

$$\frac{(140)^2}{110} = 1{,}62 \text{ volte}$$

quella normale, nel qual caso il filamento della lampada brucia dopo breve tempo.

Un altro esempio di rapporto tra le unità basilari è dato dalla corrente consumata da un ferro da stiro da 1.000 watt, 120 volt. Si calcola l'ammontare della corrente:

$$I = P : E = 1.000 : 120 = 8{,}33 \text{ ampère}$$

La resistenza a caldo può essere trovata applicando l'equazione

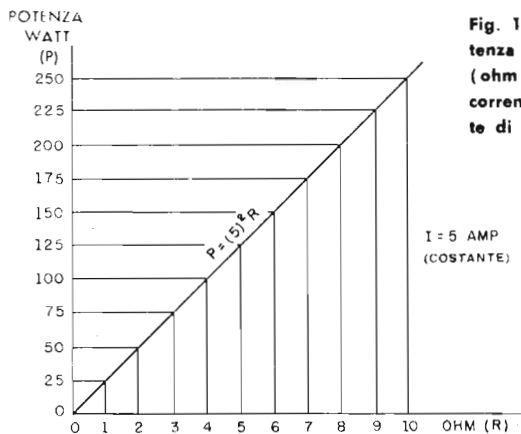



Fig. 12 - Rapporto tra potenza (watt) e resistenza (ohm), relativo ad una corrente del valore costante di 5 ampère.

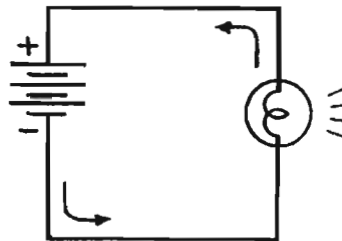



Fig. 13 - In un circuito vi può essere più di una variabile: nel filamento di una lampadina ad esempio, la corrente non è perfettamente proporzionale alla tensione, poichè la resistenza varia con la temperatura.

$$R = \frac{E}{I} = \frac{120}{8,33} = 14,4 \text{ ohm}$$

La resistenza può essere ricavata anche con l'impiego dell'altra formula, quella che fa riferimento alla potenza e precisamente

$$R = \frac{E^2}{P} = \frac{(120)^2}{1.000} = 14,4 \text{ ohm}$$

L'equazione da usarsi dipende dai valori noti e da quelli che si desiderano conoscere. Ad esempio, calcolare l'energia totale in wattore erogata da una batteria di accumulatori da 12 volt che fornisce una corrente di 10 ampère per 10 ore.

Poichè $W = E\ I\ t$ si ha

$$W = 12 \times 10 \times 10 = 1.200 \text{ wattore.}$$

Il rapporto tra ampère, volt e ore dà l'energia in wattore, ed in questo esempio la batteria è in grado di fornire energia elettrica equivalente a 1.200 wattore, ossia a 1,2 kilowattore.

Mediante le formule fino ad ora note è possibile risolvere, tra gli altri, il seguente problema: data una resistenza di 100 ohm, 500 watt, collegata in modo tale che essa dissipi il suo wattaggio effettivo, calcolare la tensione presente ai suoi capi e la corrente che la percorre.

L'equazione $P = E^2 : R$ può essere risolta rispetto alla tensione in funzione della potenza e della resistenza, per cui

$$E = \sqrt{PR} = \sqrt{500 \times 100} = 224 \text{ volt}$$

ossia un carico di 500 watt, 100 ohm, avrà ai suoi capi una tensione di 224 volt.

La corrente che lo percorre può essere calcolata in base ai valori noti, nel modo seguente:

Poichè $I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{500}{100}} = \sqrt{5} = 2,24$ ampère.

I valori così ottenuti possono essere controllati utilizzandoli per calcolare la potenza già nota precedentemente, ottenendo così il medesimo valore nel modo seguente:

$$P = I^2R = (2,24)^2 \times 100 = 500 \text{ watt}$$

Altrettanto dicasi per la resistenza che può essere controllata come segue:

$$R = \frac{E}{I} = \frac{224}{2,24} = 100 \text{ ohm}$$

E' opportuno che il lettore acquisti l'abitudine di controllare i suoi calcoli servendosi di due o più equazioni per ottenere il medesimo risultato: infatti, due sistemi sono sempre più desiderabili di uno solo per giungere ad un risultato in quanto essi tendono ad evitare gli errori che si ripetono frequentemente nel caso che se ne segua ripetutamente uno solo.

La corrente e la tensione sono fattori molto importanti nel funzionamento dei motori elettrici: consideriamo infatti la potenza dissipata da un motore industriale che assorba 125 ampère da una sorgente a c.c. di 600 volt.

Poichè $P = EI$, si ha $600 \times 125 = 75.000$ watt.

Tale potenza può essere espressa in Cavalli (*HP*) oppure in Cavalli Vapore (*CV*) ed essendo

1 *HP* = 746 watt, si avrà 75.000 : 746 = 100,2 *HP*.

1 *CV* = 736 watt, si avrà 75.000 : 736 = 101,9 *CV*.

Se il carico effettivo necessità di una potenza costante in *HP*, avremo che la corrente varierà in proporzione inversa rispetto alla tensione. Supponiamo ad esempio, che la tensione cada da 600 a 450 volt: in tal caso la corrente necessaria per mantenere costante la potenza sarà

$$I = \frac{P}{E} = \frac{75.000}{450} = 166 \text{ ampère}$$

il che rappresenta un aumento di 41 ampère, ossia del 32,8% della corrente normale, che potrà causare un surriscaldamento del motore. Tale fenomeno è importantissimo per i motori elettrici e per le macchine rotanti in genere, e costituisce una situazione in cui l'effettiva resistenza del carico varia col variare del quadrato della tensione applicata ($R = E^2 : P$).

La resistenza effettiva presentata alla corrente da parte del motore quando la tensione è di 600 volt è

$$R = \frac{E}{I} = \frac{600}{125} = 4,8 \text{ ohm}$$

e quando detta tensione scende a 450 volt essa pure scende a

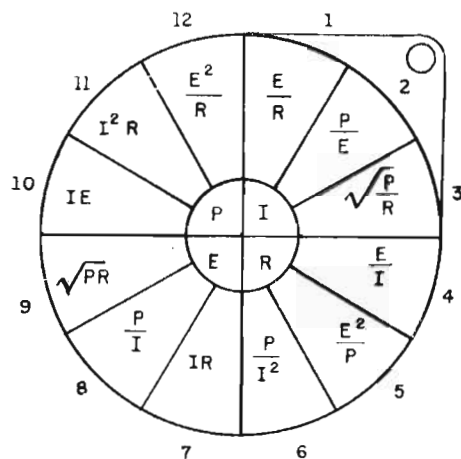



Fig. 14 - Disposizione logica delle formule relative alle grandezze I, E, R e P. Ciascuna di esse può essere determinata conoscendo almeno due delle altre. Il disco, che può essere riprodotto e tenuto a portata di mano, è diviso in quattro settori, ciascuno dei quali contiene tre formule che consentono di determinare la grandezza presente nel vertice relativo. Ad esempio I (corrente), è data da E:R oppure da P:E o ancora da $\sqrt{P:R}$.

$$\frac{450}{166} = 2{,}7 \text{ ohm}$$

La resistenza effettiva a 600 volt può essere controllata mediante l'equazione

$$P = \frac{E^2}{R}$$

nella quale i valori di *E* e *P* vengono sostituiti come segue, dopo aver trasformato la formula per risolvere rispetto ad *R*:

$$R = \frac{E^2}{P} = \frac{(600)^2}{75.000} = 4{,}8 \text{ ohm}$$

ed effettuato il medesimo controllo rispetto alla tensione di 450 volt si ottiene ancora il valore di 2,7 ohm.

La tendenza da parte dei motori ad aumentare la corrente di ingresso quando la tensione diminuisce non si verifica nel caso di altri carichi elettrici come ad esempio resistenze, apparecchi di riscaldamento, lampade elettriche, ecc.; il fenomeno ora descritto perciò non deve essere inteso da un punto di vista generale, indipendentemente cioè dalle caratteristiche del carico particolare in questione.

L'applicazione delle semplici equazioni o formule di tre lettere considerate in questa lezione non presenta grande difficoltà, tuttavia può presentarne nei confronti di un lettore assolutamente privo di cognizioni matematiche. I suoi tentativi di pervenire alle risposte ricorrendo a circuiti pratici equivalenti, possono infatti rivelargli la presenza di più di una variabile nel circuito elementare.

Ad esempio, egli troverà che, secondo la legge di Ohm, la corrente che percorre un circuito elettrico è direttamente proporzionale alla tensione applicata, tuttavia aumentando la tensione (ad esempio su di una lampada ad incandescenza — **figura 13** —) l'aumento di corrente non è direttamente proporzionale all'aumento di tensione. Tale fenomeno si spiega con la tendenza da parte del tungsteno ad aumentare la sua resistenza con l'aumentare della temperatura, per cui un aumento della tensione di alimentazione del filamento causa un aumento della corrente che lo percorre, e quindi della sua temperatura, la quale provoca a sua volta un aumento della resistenza. In questo caso le quantità variabili del circuito sono due invece di una, ossia la tensione e la resistenza, invece che la sola tensione.

Ad esempio, se nel caso in cui sopra, la tensione è di 110 volt e la resistenza di 120 ohm, la corrente è data da

$$I = E : R = 110 : 120 = 0{,}917 \text{ ampère}$$

se la tensione è di 132 volt e la resistenza di 130 ohm, la corrente è data

$$I = 132 : 130 = 1{,}015 \text{ ampère}$$

L'aumento di tensione è pari a 132-110 = 22 volt, e la percentuale di aumento è data da

$$\frac{22 \times 100}{110} = 20\%$$

L'aumento di resistenza invece ammonta a 130-120 = 10 ohm, corrispondente ad una percentuale del'8,33%, e l'aumento di corrente infine ammonta a 1,015-0,917 = = 0,098 ampère e corrisponde ad una percentuale del 10,7%. Da ciò si deduce che ad un aumento della tensione del 20% corrisponde un aumento di corrente del solo 10,7%. Se la tensione fosse stata la sola quantità variabile, la corrente ne avrebbe seguito le variazioni proporzionalmente, ossia un aumento del 20% della prima avrebbe causato un eguale aumento della seconda. Nel nostro caso invece, le variazioni non sono proporzionali.

Le equazioni fino ad ora considerate non rivelano di per se stesse il comportamento del circuito, tuttavia indicano le relazioni numeriche che intercorrono tra volt, ampère, ohm e watt, ed in tali limiti contribuiscono a dare al lettore una conoscenza basilare.

La figura 14, costituita da un circolo diviso in 12 settori, è una dimostrazione sinottica della elaborazione di dette equazioni, le quali sono sistemate in ordine progressivo dal 1° al 12° settore, secondo l'ordine seguito nella spiegazione teorica.

E' opportuno tuttavia ricordare che anche questa figura non deve sostituire la conoscenza necessaria per ottenere, attraverso il ragionamento, le varie trasformazioni, bensì deve servire come aiuto per trovare un elemento incognito in funzione di altri, rapidamente.

PILE ed ACCUMULATORI

Vi sono diversi modi per produrre una tensione elettrica:

1) chimicamente, inserendo ad esempio due elettrodi rispettivamente di carbone e di zinco, in una soluzione di acido solforico ed acqua;
2) meccanicamente, muovendo un conduttore attraverso un campo magnetico in modo che esso tagli le linee di forza;
3) mediante frizione, come avviene quando un bastoncino di ebanite viene strofinato contro un panno di lana;
4) mediante esposizione al calore di una coppia di metalli diversi in contatto tra loro, come ad esempio rame e ferro;
5) mediante l'effetto piezoelettrico, basato sul fatto che alcuni cristalli emettono delle scariche elettriche quando vengono sottoposti a sollecitazioni meccaniche, ed infine,
6) mediante l'effetto fotovoltaico col quale si produce una tensione quando dei raggi luminosi colpiscono una speciale sostanza come ad esempio l'ossido di rame, o il selenio.

I primi due metodi permettono la realizzazione rispettivamente di batterie e di generatori; il terzo viene usato nella costruzione di generatori di elettricità statica ad alta tensione; il quarto viene utilizzato nei dispositivi detti *termocoppie* per la misura delle temperature; il quinto viene utilizzato per la produzione di microfoni a cristallo e di rivelatori fonografici, ed il sesto negli apparecchi per la misura e l'utilizzazione dell'intensità luminosa, (*fotocellule*).

Esamineremo nelle pagine che seguono i sistemi, tra quelli citati, che maggiormente hanno attinenza alle applicazioni radio soffermandoci a lungo, in questa lezione, sul sistema chimico (cellule primarie e secondarie, ossia pile ed accumulatori). Gli altri sistemi saranno oggetto di più dettagliata esposizione sul fascicolo prossimo.

Pile ed accumulatori hanno avuto rilevante importanza per il passato nella tecnica radio. Poichè gli apparecchi riceventi necessitano di una adeguata « alimentazione » di corrente in particolare per le loro valvole (vedremo più avanti come e perchè), in mancanza di dispositivi diversi si è dovuto sempre ricorrere a tali fonti sintanto che non si è riusciti ad utilizzare in loro luogo — con reale praticità — la normale rete di energia elettrica distribuita per l'illuminazione.

Oggi pile ed accumulatori — dopo un lungo periodo di abbandono ai fini dell'utilizzazione in radio — ritornano in auge in conseguenza dell'applicazione sempre più estesa dei « transistori » nuovi organi sostitutivi delle valvole che, a differenza di queste, non necessitano di molta energia e rendono così vantaggioso e più pratico, sotto diversi punti di vista, l'uso di batterie le cui dimensioni, tra l'altro hanno potuto essere notevolmente ridotte.

E' per tali motivi che, come abbiamo già accennato, a tali componenti dedicheremo le pagine che seguono in quanto pile ed accumulatori — con logici sviluppi e perfezionamenti — sono nuovamente destinati ad occupare un posto importante nella tecnica radio.

CELLULE VOLTAICHE

Quando due elementi dissimili — ad esempio il carbone e lo zinco (oppure il rame e lo zinco) — vengono immersi in una soluzione di acido solforico ed acqua, l'acido attacca lo zinco più rapidamente di quanto non faccia nei confronti del carbone, e tra i due elementi si verifica una differenza di potenziale.

Tale realizzazione costituisce *la cellula voltaica*, il cui scopo è di convertire l'energia chimica in energia elettrica.

Gli elementi vengono definiti *elettrodi*, e la soluzione acida prende il nome di *elettrolita*; se gli elementi devono essere eliminati perchè esauriti, al termine della loro durata, la cellula è detta **primaria**, mentre se possono essere riportati alle loro condizioni originali con ricarica a mezzo di sorgente esterna di energia elettrica, essa viene denominata **secondaria**.

CELLULE PRIMARIE

La cellula accennata sopra è del tipo primario.

Se si collega un conduttore esternamente agli elettrodi, gli elettroni scorrono dallo zinco (negativo) al carbone (positivo) attraverso il conduttore stesso, grazie alla differenza di potenziale, ritornando infine allo zinco attraverso la soluzione; dopo un certo periodo, l'elettrodo di zinco viene corroso a causa della azione corrosiva dell'acido. Se l'elettrodo negativo è circondato da ossigeno, si ossida come un combustibile, e — sotto questo riguardo — la cellula si comporta un po' come una fornace chimica nella quale l'energia sviluppata dallo zinco si trasforma in energia elettrica invece che in calore.

La **figura 1** illustra un semplice esemplare di cellula primaria, la quale consiste di due elettrodi (car-

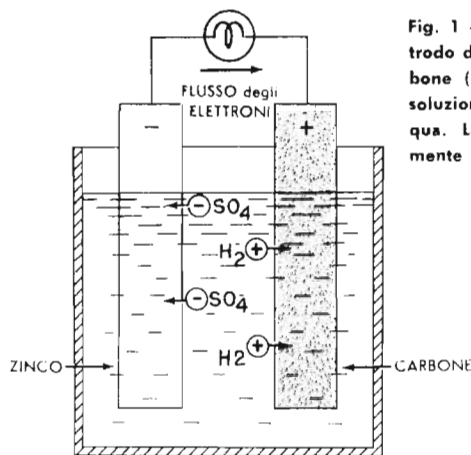



Fig. 1 - Cellula primaria. Un elettrodo di zinco (—) ed uno di carbone (+) sono immersi in una soluzione di acido solforico e acqua. La corrente scorre esternamente dal + al —.

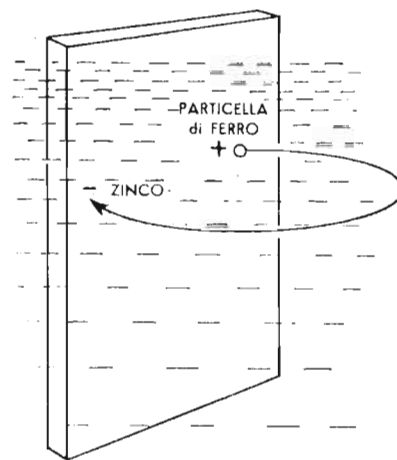



Fig. 2 - Una particella di ferro (impurità) contenuta nell'elettrodo di zinco costituisce con questo una microscopica cellula la cui attività continua anche se il circuito esterno è interrotto.

bone e zinco) e di un recipiente che contiene una soluzione diluita di acido solforico (H_2SO_4) e di acqua (H_2O) La tensione presente tra gli elettrodi è in relazione al materiale che li costituisce ed alla composizione della soluzione; la differenza di potenziale tra elettrodi di carbone e di zinco in una soluzione diluita di acido e acqua ammonta a circa 1,5 volt, e, nella maggior parte delle cellule primarie, la tensione prodotta non supera mai i 2 volt.

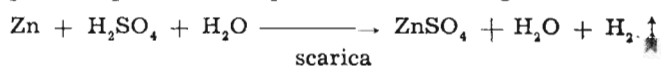
La corrente che può essere erogata da una pila primaria dipende dalla resistenza dell'intero circuito — compresa quella della pila stessa — la quale dipende a sua volta dalle dimensioni degli elettrodi, dalla loro distanza, nonchè dalla resistenza della soluzione. Maggiore è la superficie degli elettrodi e minore è la distanza tra di loro (purchè non si tocchino), minore è la resistenza interna, e maggiore la corrente che la pila può fornire all'eventuale carico.

Azione alla scarica

Quando la corrente scorre attraverso una cellula, lo zinco viene gradatamente dissolto nella soluzione, per cui l'acido viene neutralizzato; qualche volta si usa una equazione per dimostrare l'azione chimica che si verifica. I simboli usati in detta equazione rappresentano gli elementi usati, ossia *C* per il carbone e *Zn* per lo zinco. L'equazione è quantitativa in quanto stabilisce una relazione tra il numero delle parti componenti, in materiali usati prima e dopo l'ossidazione dello zinco.

Come sappiamo, tutta la materia è composta di atomi e di molecole, e, mentre il primo è la parte più piccola di un elemento, la seconda è la più piccola parte di una sostanza; quest'ultima non è che la combinazione chimica di due o più elementi, e le sue caratteristiche fisiche sono differenti da quelle degli elementi che la compongono. Ad esempio, una molecola di acqua, H_2O, è composta di due atomi di idrogeno H_2, e di uno di ossigeno O. Normalmente, sia l'idrogeno che l'ossigeno sono dei gas, ma, quando sono combinati tra loro in detta proporzione, essi costituiscono l'acqua, che è invece un liquido. Per contro, ad esempio, l'acido solforico H_2SO_4, e l'acqua H_2O costituiscono un miscuglio, (non una sostanza), in quanto la costituzione di entrambi i liquidi si mantiene inalterata quando sono mescolati in una soluzione.

Quando una corrente scorre in una pila primaria avente elettrodi di carbone e di zinco ed una soluzione di acido solforico ed acqua, la reazione chimica che si produce può essere espressa nel modo seguente:

$$Zn + H_2SO_4 + H_2O \xrightarrow[\text{scarica}]{} ZnSO_4 + H_2O + H_2 \uparrow$$

tale espressione indica che, non appena la corrente comincia a scorrere, una molecola di zinco si combina con una molecola di acido per formare una molecola di solfato di zinco ($ZnSO_4$), ed una molecola di idrogeno (H_2). Il solfato di zinco si dissolve nella soluzione, mentre l'idrogeno si sviluppa sotto forma di bolle gassose attorno all'elettrodo di carbone, e se la corrente continua a scorrere, l'elettrodo di zinco viene gradatamente consumato mentre la soluzione si trasforma in un'altra soluzione costituita da solfato di zinco ed acqua.

L'elettrodo di carbone non prende parte alla reazione chimica che si verifica, bensì si limita a costituire un mezzo di passaggio per la corrente stessa.

Durante il processo di ossidazione dello zinco, la soluzione si divide in ioni positivi e negativi i quali si muovono in direzioni opposte (vedi figura 1). Gli ioni positivi sono di idrogeno e appaiono in prossimità dell'elettrodo di carbone (positivo); essi vengono portati a tale elettrodo in quanto attratti dagli elettroni liberi dello zinco che ritornano alla cellula tramite il carico esterno e il terminale dell'elettrodo positivo in questione.

Gli ioni negativi sono di solfato di zinco ed appaiono in prossimità dell'elettrodo negativo di zinco.

Gli ioni positivi di zinco entrano a far parte della soluzione intorno all'elettrodo di zinco e si combinano con gli ioni negativi SO_4 per formare il solfato di zinco, sostanza grigiastra che si dissolve immediatamente nell'acqua.

Contemporaneamente al movimento in direzioni opposte degli ioni positivi e negativi in soluzione, gli elettroni si spostano verso il circuito esterno partendo dal terminale negativo di zinco e raggiungendo il terminale positivo di carbone attraverso il carico.

Quando lo zinco è esaurito, la tensione della pila si riduce a zero, e la differenza di potenziale presente tra il carbone ed il solfato di zinco in una soluzione di quest'ultimo in acqua, non è apprezzabile.

Polarizzazione

L'azione chimica che si verifica nella pila (figura 1)

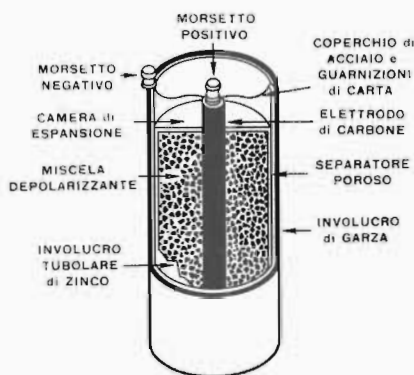
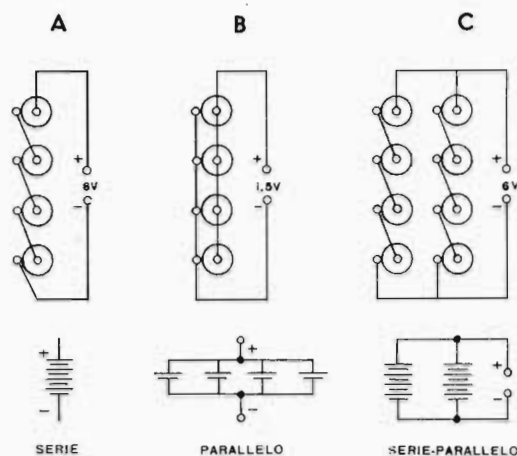



Fig. 3 - Pila Leclanché. L'elettrolita è una pasta densa, che non si disperde capovolgendo l'elemento. La tensione è di 1,5 volt, e la corrente varia a seconda della resistenza del carico e delle dimensioni della pila.

Fig. 4 - Le cellule possono essere raggruppate in serie (A), in parallelo (B) o in serie-parallelo (C). In tal modo si aumenta rispettivamente la tensione, la corrente o entrambe.

mentre la corrente scorre, provoca delle bolle di idrogeno le quali si formano in gran numero sulla superficie dell'elettrodo positivo di carbone finchè questo ne è completamente ricoperto. Tale azione si chiama *polarizzazione*. Alcune di queste bolle salgono alla superficie e si liberano nell'aria, tuttavia, molte di esse restano sull'elettrodo finchè non rimane spazio sufficiente affinchè se ne formino altre.

L'idrogeno tende a provocare una forza elettromotrice in senso opposto a quello della pila, aumentando di conseguenza la resistenza interna effettiva e riducendo quindi la corrente d'uscita e perciò anche la tensione.

Una pila considerevolmente polarizzata non ha praticamente corrente di uscita. Vi sono diversi metodi per evitare detta polarizzazione o per rimediare nei casi in cui si verifica: il più semplice consiste nel togliere l'elettrodo di carbone e nel pulirlo asportando le bolle di idrogeno; in tal modo, non appena viene nuovamente immerso nell'elettrolita, la tensione e la corrente ritornano al loro valore normale. Tale metodo non è però molto pratico in quanto nella cellula voltaica semplice la polarizzazione si verifica rapidamente e continuamente.

Una realizzazione commerciale di questo tipo di pila — nota sotto il nome di *pila a secco* — impiega una sostanza ricca di ossigeno come parte dell'elettrodo positivo di carbone, la quale si combina chimicamente con l'idrogeno per formare acqua. Uno dei migliori depolarizzanti usati è il biossido di manganese (MnO_2) che fornisce ossigeno libero in quantità sufficiente affinchè si combini con l'idrogeno presente, in modo che la pila sia praticamente esente da polarizzazione.

Azione locale

Quando il circuito esterno è aperto, la corrente cessa di scorrere, e, teoricamente, si blocca tutto il processo chimico. Tuttavia, poichè lo zinco commerciale contiene varie impurità come ad esempio ferro, carbone, piombo e arsenico, esse costituiscono varie cellule in seno allo stesso elettrodo di zinco, per opera delle quali la corrente scorre tra lo zinco stesso e le sue impurità. Per questo motivo lo zinco viene ossidato sebbene il circuito della pila sia aperto; tale azione di corrosione a circuito aperto si chiama *azione o effetto locale*. Ad esempio, supponiamo che una piccola cellula locale si trovi su di una piastra di zinco contenente impurità di ferro, come è illustrato nella **figura 2**. Gli elettroni scorrono tra lo zinco ed il ferro, e la soluzione che si trova attorno alle impurità si ionizza. Gli ioni negativi SO_4 si combinano con gli ioni positivi Zn e formano $ZnSO_4$, per cui l'acido va in soluzione e lo zinco si consuma.

L'azione locale può essere evitata (1) usando zinco puro (provvedimento non molto pratico), (2) ricoprendo lo zinco di mercurio, oppure (3) aggiungendo allo zinco una piccola percentuale di mercurio durante il suo processo di fabbricazione.

Il trattamento dello zinco con mercurio consiste nel formare un'amalgama di zinco. Poichè il peso del mercurio equivale a 13,6 volte quello di un eguale volume di acqua, le piccole particelle di impurità — che hanno un peso relativo inferiore a quello del mercurio — salgono sulla superficie di quest'ultimo, e la rimozione di dette impurità dallo zinco evita l'azione locale. Poichè il mercurio non viene attaccato facilmente dallo acido e continua ad agire sulle impurità anche quando la pila fornisce corrente ad un carico, esso le costringe ad abbandonare la superficie dello zinco ed a salire alla superficie. Tutto ciò aumenta notevolmente la durata della pila.

Tipi di pile

Vi sono due tipi di pile primarie: le *pile a liquido* e le *pile a secco*, e, sebbene in passato ne siano state usate molte del primo tipo, esse sono oggi in disuso a causa dei maggiori vantaggi delle seconde.

Pila Leclanchè — La pila a secco (chiamata anche pila Leclanchè) non deve intendersi a secco nel senso che non contiene soluzione, bensì viene così definita in quanto è fabbricata in modo tale che la soluzione non possa essere dispersa.

L'elettrolita esiste infatti sotto forma di una pasta, e la pila è sigillata i modo che il liquido contenuto non possa uscire. La **figura 3** illustra in sezione un tipo comune di pila a secco. Il contenitore è normalmente di zinco e funge da elettrodo negativo: esso è ricoperto internamente da uno strato di carta assorbente che impedisce il contatto con elettrodo positivo il quale è costituito da un bastoncino di carbone posto in centro rispetto all'intera pila. L'elettrodo positivo è

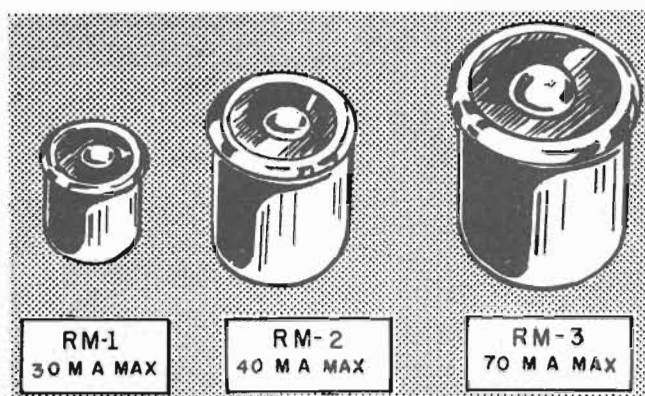



Fig. 5 - Cellule al mercurio dette « RM ». Erogano circa 1,25 volt costanti fino alla scarica completa.

Fig. 6 - Sezione di un accumulatore al piombo, e parti componenti.

circondato da una pasta formata da carbone, biossido di manganese, cloruro di ammonio e cloruro di zinco con la quale è a diretto contatto. Detto impasto viene inumidito mediante acqua, e se questa evapora, la pila diventa inattiva.

La forza elettromotrice di questo tipo di pila dipende dal materiale usato ed ammonta a circa 1,5 volt, indipendentemente dalle dimensioni, per cui la più piccola di esse dà, a circuito aperto, la medesima tensione della più grande.

Le batterie a secco sono adatte in prevalenza per usi discontinui, come ad esempio per lampadine tascabili, apparecchi portatili di prova, radio trasmettitori portatili, e piccoli motori a corrente continua. Se invece, viene richiesta una notevole corrente ininterrotta, la pila si polarizza e la tensione cade in maniera tale che essa risulta presto completamente scarica. Tuttavia, se la pila rimane inattiva un certo tempo, si depolarizza, e la tensione ritorna al suo valore normale.

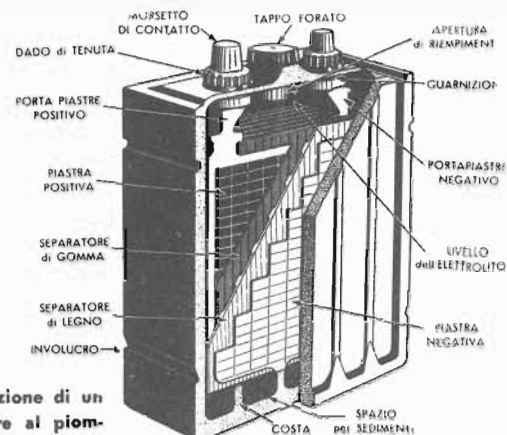
Molti dispositivi elettrici necessitano di una tensione o di una corrente maggiori di quelle che possono essere fornite da una sola pila, per cui è spesso necessario collegarne insieme un certo numero allo scopo di aumentare o la corrente, o la tensione, o entrambe. Un insieme di varie pile costituisce una *batteria*, ed il sistema col quale esse vengono collegate tra loro dipende dalle necessità, in quanto mentre il collegamento *in serie aumenta la tensione*, il collegamento *in parallelo aumenta la corrente*.

La **figura 4** mostra oltre a vari complessi costituiti da pile a secco collegate in serie, in parallelo ed in serie-parallelo, i vari simboli standard corrispondenti a tali collegamenti.

Per collegare *in serie* varie cellule e sommare le loro tensioni, è necessario che il *terminale positivo* di una di esse sia *collegato al terminale negativo della seguente*, lasciando liberi il polo negativo della prima ed il polo positivo dell'ultima, come illustrato in figura 4 A. La tensione totale della batteria equivale alla *somma delle singole tensioni*.

Alcune batterie sono costituite dalla combinazione di 15 di 30 e di 45 cellule in serie per avere rispettivamente delle tensioni di 22,5 e di 45, o di 67,5 volt.

La corrente di uscita di un complesso di batterie in serie *è eguale a quella di una sola cellula*.

Le cellule possono anche essere collegate *in parallelo*, collegando insieme e *tra loro* tutti *i poli negativi* e insieme e tra *loro tutti i poli positivi* onde avere un negativo ed un positivo unici, come è illustrato nella figura 4 B. In questo caso, mentre *la corrente totale equivale alla somma delle correnti* di ogni singola cellula, *la tensione* totale *equivale a quella di una sola cellula*. Occorre far rilevare che secondo quest'ultimo collegamento è necessario che tutte le cellule abbiano la medesima tensione e la medesima resistenza interna, altrimenti quella avente maggior tensione e minore resistenza interna costringerebbe la corrente a passare attraverso quella di tensione inferiore che sopporterebbe tutto il carico.

Un altro metodo di utilizzazione di più pile consiste nel collegamento in serie-parallelo come è illustrato nella figura 4 C. Le pile di ogni gruppo sono collegate in serie tra loro, mentre i due gruppi sono tra loro in parallelo. Tale sistema, nell'esempio citato, porta la tensione al quadruplo di quella di una sola cellula, e la corrente al doppio.

Batteria a secco tipo RM — Durante questi ultimi anni, la necessità di una pila a secco che sopportasse i climi tropicali e l'umidità, portò allo sviluppo della pila RM, detta anche pila « Ruben » e « Mercury ».

Trattasi di una pila di fabbricazione più costosa del tipo precedente, ma presentante il vantaggio di produrre una corrente da quattro a sette volte superiore e di avere una tensione molto più costante. La pila RM si presenta sotto forma di un cilindro di diametro da 8 a 25 mm, con un'altezza dai 3 mm ai 15 mm (**figura 5**).

La corrente elettrica della pila RM si produce grazie ad una reazione chimica che avviene tra lo zinco e l'ossido di mercurio. L'elettrodo positivo è un miscuglio di ossido di mercurio e di carbone contenuto in un recipiente di ferro, mentre l'elettrodo negativo è formato da un disco di zinco posto al centro del recipiente. L'elettrolita è costituito da una soluzione di idrossido di potassio. La tensione a circuito aperto è di 1,34 volt, mentre col carico scende a valori compresi tra 1,31 e 1,24 volt e — sebbene la tensione sotto carico sia inferiore a quella della normale pila a secco di circa 0,2 volt — la pila RM mantiene la tensione praticamente costante durante tutta la sua durata. L'uso principale è riservato ai radio-trasmettitori portatili e ad altre piccole apparecchiature elettroniche.

CELLULE SECONDARIE

Come è stato detto precedentemente, si intende, per

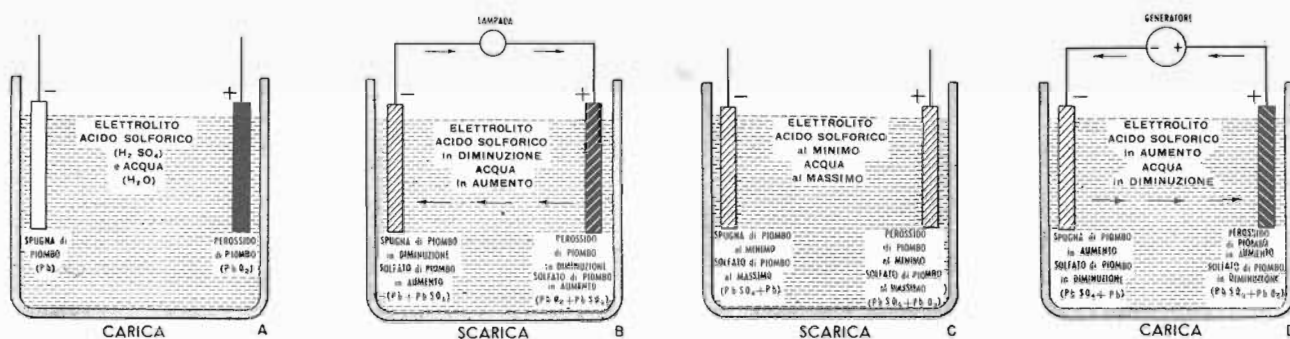



Fig. 7 - Quattro fasi successive dell'attività di una cellula secondaria. E' facile notare le varie reazioni chimiche durante la scarica e la ricarica.

pila secondaria, quella i cui elementi possono essere riportati allo stato iniziale mediante ricarica a mezzo di energia elettrica per cui, quando la corrente di carica scorre attraverso detta pila in senso opposto a quello di scarica, sia la soluzione che gli elettrodi ritornano alle condizioni originali. La cellula secondaria viene usata sotto forma di batteria (due o più cellule collegate tra loro), nelle automobili, nelle motobarche, negli aereoplani, nei sottomarini ecc.; queste batterie sono note sotto il nome di **accumulatori elettrici**.

Oggigiorno vi sono due tipi di accumulatori: 1) il tipo a piombo e 2) il tipo al ferro-nichel in soluzione alcalina (Edison) oppure al nichel-cadmio sempre in soluzione alcalina. Il primo tipo è quello più comunemente usato. La **figura 6** illustra un tipo di accumulatore al piombo in veduta sezionata.

Azione chimica

La natura delle reazioni chimiche che si verficano in un accumulatore al piombo è piuttosto elaborata, ma la seguente, breve descrizione, sarà sufficiente per dare una idea del ciclo che si manifesta durante la carica e durante la scarica.

Quando una cellula è completamente carica (**figura 7-A**) il materiale attivo della piastra positiva è costituito da ossido di piombo, PbO_2, e quello della piastra negativa da piombo puro spugnoso, Pb.

Il peso specifico dell'elettrolita (ossia il suo peso relativo nei confronti di un eguale volume di acqua) è al suo valore massimo. In tali condizioni l'energia chimica viene, per così dire, immagazzinata. La tensione a circuito aperto, (ossia in assenza di carico e quindi di assorbimento) è leggermente superiore a 2 volt.

Se tra il polo positivo e quello negativo si chiude un circuito esterno, a causa dell'azione chimica dell'elettrolita sul materiale attivo si ha un passaggio di corrente, per cui l'energia chimica viene trasformata in energia elettrica. In questo caso si dice che la batteria è sotto scarica, (**figura 7-B**). L'elettrolita reagisce col piombo della piastra negativa e col perossido di piombo della piastra positiva, per formare su entrambe del solfato di piombo.

Allo stato di carica la piastra positiva contiene perossido di piombo PbO_2. La piastra negativa è costituita da piombo spugnoso Pb, e la soluzione contiene acido solforico H_2SO_4.

Allo stato di scarica entrambe le piastre contengono solfato di piombo, $PbSO_4$, e la soluzione contiene solo acqua, H_2O. Infatti, durante il processo graduale di scarica, il contenuto acido dell'elettrolita diminuisce progressivamente in quanto si esaurisce per la produzione di solfato di piombo; il peso specifico della soluzione diminuisce, fino al momento in cui la quantità di materiale attivo trasformata in solfato di piombo è tale che la cellula non può più produrre una corrente apprezzabile per impieghi pratici. A questo punto si dice che la cellula è scarica (**figura 7-C**).

Poichè la quantità di acido solforico che si combina con le piastre in ogni istante del tempo di scarica è in diretta proporzione agli ampèrora (ossia al prodotto tra la corrente in ampère ed il tempo in ore) di scarica, il peso specifico dell'elettrolita costituisce una buona guida per la determinazione dello stato di carica dell'accumulatore.

Se la cellula scarica viene correttamente collegata ad una sorgente di corrente continua di carica — la cui tensione sia leggermente più alta di quella della cellula stessa — la corrente scorre in senso opposto a quello della corrente di scarica, ed in questo caso si dice che la cellula è sotto carica (**figura 7-D**). L'effetto di tale corrente consiste nel ritrasformare nelle rispettive condizioni originali — di perossido di piombo e di piombo spugnoso — il solfato di piombo presente su entrambe le piastre. Contemporaneamente, l'acido viene restituito alla soluzione elettrolitica con conseguente aumento del peso specifico di quest'ultima, e, quando la reazione dovuta alla ricarica ha raggiunto l'apice, detto peso specifico ha il suo valore massimo: la cellula è completamente carica e pronta perciò per essere riutilizzata ossia scaricata di nuovo.

E' necessario ricordare sempre che l'aggiunta di acido solforico ad un accumulatore scarico non lo ricarica, bensì aumenta semplicemente il peso specifico dell'elettrolita senza convertire il solfato di piombo presente sulle piastre in materiale attivo (piombo spugnoso e perossido di piombo) e senza quindi riportare la cellula alle condizioni di carica, per ottenere la quale è necessario, come si è detto, un passaggio di corrente in senso opposto.

Quando la carica di un accumulatore sta per essere completata, l'idrogeno, H_2, e l'ossigeno, O_2, si sviluppano sotto forma di gas liberi, rispettivamente in prossimità dell'elettrodo negativo e di quello positivo; ciò si verifica in quanto la corrente di carica è maggiore

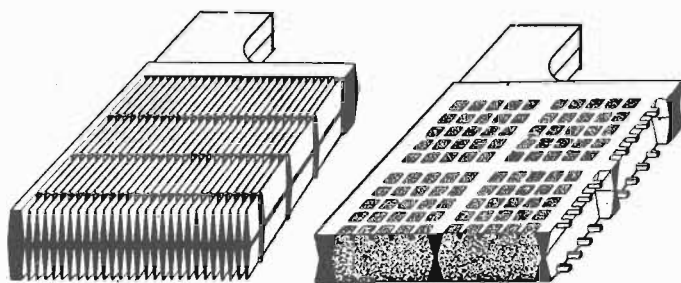



Fig. 8 - Piastra « Plantè » a piombo spugnoso.

Fig. 9 - Piastra a pastiglia, più leggera.

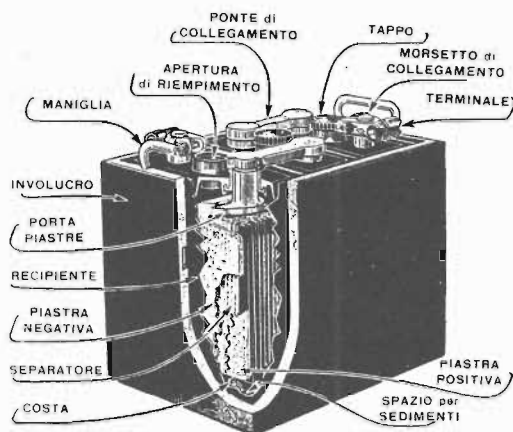



Fig. 10. - Batteria di accumulatori : 3 elementi

di quella necessaria per ridurre il piccolo quantitativo di solfato di piombo ancora presente sulle piastre, per cui l'eccesso di corrente ionizza l'acqua della soluzione.

Tale fenomeno testimonia che la carica dell'accumulatore è stata effettuata completamente.

Piastre a pastiglia

Gli accumulatori al piombo vengono realizzati con una varietà di tipi di piastre, varietà che si estende dal tipo a piombo spugnoso (Planté) — **figura 8** — al tipo più leggero, a pastiglia (vedi **figura 9**).

Il primo tipo, per riattivare il materiale al suo giusto grado, richiede cariche e scariche ripetute; il procedimento è lento e costoso. Nel 1881 Camille Faure realizzò in Francia, un miglioramento radicale nella costruzione di accumulatori costruendo un tipo di piastra a pastiglia, che poteva essere fabbricata con un procedimento molto più economico. Tale tipo viene oggi usato comunemente nella maggior parte degli accumulatori portatili. Esso viene costruito applicando speciali pastiglie di ossido di piombo ad una griglia realizzata con una lega di piombo e antimonio, il cui compito è solo quello di alloggiare il materiale attivo — che ne riempie gli spazi liberi — e di distribuire uniformemente la corrente su tutta la superficie.

Quando le pastiglie sono asciutte, si dà alle piastre una carica di formazione. La si esegue immergendole nella soluzione elettrolitica e facendole attraversare da una corrente in direzione appropriata, in modo tale che si trasformino in perossido di piombo sulla piastra positiva ed in piombo spugnoso sulla piastra negativa. Questi tipi di piastre richiedono minor tempo per la loro produzione; il loro peso è inferiore in confronto a quelle del tipo Planté, ma queste ultime sono però più robuste e di maggior durata.

Elementi a cellule

Le piastre possono essere raggruppate in gruppi positivi e negativi, e quando tali gruppi vengono riuniti in un unico accumulatore esso prende il nome di *elemento a cellule* (**figura 10**).

Il numero delle piastre negative è sempre superiore di uno a quello delle piastre positive, in modo che entrambi i lati di ogni piastra positiva prendono parte alla reazione chimica. Sulle piastre positive il materiale attivo si espande e si contrae rispettivamente quando la batteria viene caricata o scaricata, e sia l'espansione che la contrazione devono essere mantenute eguali su entrambi i lati per evitare che la piastra si fletta.

Tra il polo positivo e il polo negativo vengono inseriti dei distanziatori di legno, di ebanite o di vetro, che fungono da isolanti (figura 10); essi sono zigrinati verticalmente da un lato e levigati dall'altro. Il lato zigrinato viene posto in prossimità della piastra positiva per permettere la libera circolazione dell'elettrolita intorno al materiale attivo.

Le figure 6 e 10 illustrano tipi di accumulatore al piombo nei quali i terminali negativo e positivo si estendono attraverso il coperchio. Ogni cellula reca un foro munito di tappo a vite per permettere il riempimento e la verifica: il tappo, a sua volta, porta un piccolo foro che costituisce un punto di sfogo per i gas che si formano durante la carica.

Un comune accumulatore portatile da 6 volt consiste di tre cellule montate in un apposito recipiente di ebanite (monoblocco). Il recipiente non può essere di metallo a causa dell'acidità dell'elettrolita; ogni cellula è contenuta in un scompartimento impermeabile e limitato da separatori, inattaccabili dall'acido. Le cellule sono collegate in serie mediante sbarrette in lega di piombo, unite ai terminali delle cellule adiacenti mediante saldatura con piombo fuso. Lo spazio interposto tra la carcassa esterna e gli scompartimenti viene riempito con materiale a prova di acido, che sigilla gli elementi, isolandoli tra loro; questo materiale è costituito da un miscuglio di catrame e di materiali bituminosi, trattati in modo tale che rimangano allo stato solido alle temperature più alte e che non si incrinino alle più fredde.

Ogni cellula di una batteria viene riempita di elettrolita consistente di acido solforico concentrato e di acqua distillata: esso conduce la corrente elettrica tra il polo positivo e quello negativo internamente alla batteria, e reagisce chimicamente col materiale attivo delle piastre così come abbiamo dettagliatamente esposto.

Accumulatori al ferro-nichel

Questo tipo, detto cellula Edison, è formato da elettrodi positivi di ossido di nichel espanso e da elettrodi negativi di polvere di ferro pressata, mentre la soluzione elettrolitica è a base di idrossido di potassio. Tale tipo di cellula ha una capacità in chilowattore per chilo del suo peso, maggiore del tipo a piombo, e può

Fig. 11 - Densimetro a siringa per il controllo del peso specifico di una soluzione. La posizione del galleggiante indica la densità dell'elettrolita.

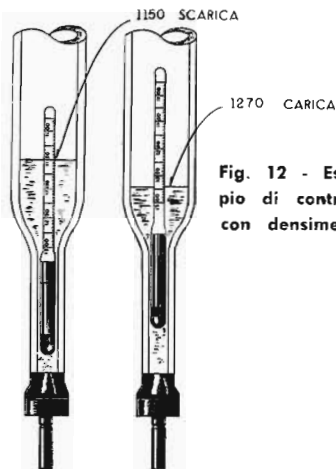
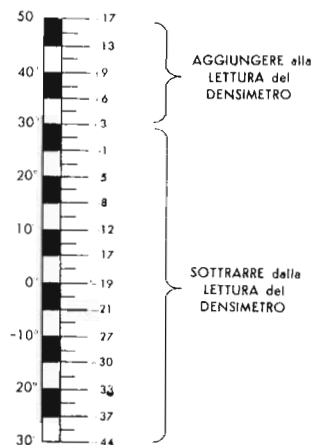



Fig. 12 - Esempio di controllo con densimetro.

Fig. 13 - Tabella di correzione della lettura di un densimetro, necessaria alle varie temperature della soluzione maggiori o minori di 27°C.

restare per un tempo illimitato sia in stato di carica che di scarica, senza subire avarie. Per contro però, si ha evaporazione durante la scarica, e la tensione di ogni elemento che è di 1,2 volt sotto carico, è solo pressapoco la metà di quella del tipo a piombo. L'accumulatore al ferro-nichel ha inoltre una resistenza interna più elevata, la quale aumenta col diminuire della temperatura.

Accumulatori al nichel-cadmio

Si tratta di un tipo sviluppato e perfezionato in questi ultimi anni per l'utilizzazione sugli aerei e in tutte le contingenze nelle quali si richieda una riduzione di peso; essendo basato su reazioni eminentemente alcaline, rimedia alla maggior parte degli svantaggi del tipo Edison.

Esso consta di venti unità, collegate in serie in modo da fornire una tensione di 24 volt, contenute in un involucro di acciaio inossidabile. L'elettrolita si presenta più come una pasta che come un liquido, ed ogni elemento è chiuso ermeticamente. Una volta sigillati, questi accumulatori non necessitano più di alcuna manutenzione, come ad esempio aggiunta di acqua distillata o verifica del peso specifico della soluzione. La corrente erogata è eguale a quella del tipo a piombo ed acido, con la differenza che l'autonomia è circa doppia.

PESO SPECIFICO

Il peso specifico è un mezzo standard per esprimere il rapporto tra il peso di qualsiasi volume di un liquido, ed il peso di un egual volume di acqua. Si è convenuto per l'acqua distillata un peso specifico di 1; una sostanza che pesa due volte e mezza rispetto ad un egual volume di acqua, ha un peso specifico di 2,5. L'acido solforico non diluito, per accumulatori, ha un peso specifico di 1,835.

Il peso specifico di una soluzione di acido solforico diluito in acqua, varia col variare della densità della soluzione, e man mano che la batteria si scarica, l'elettrolita diventa più debole, (rimane solo acqua) il che come abbiamo visto, porta ad un sistema conveniente per determinare le condizioni di carica. La soluzione normalmente usata per gli accumulatori ha un peso specifico di 1,3.

Poichè l'acido solforico è un liquido pesante, maggiore è la sua proporzione rispetto all'acqua, maggiore è il peso specifico della soluzione.

Il peso specifico dell'elettrolita di una batteria completamente carica varia da 1,27 a 1,30, mentre a scarica completa, scende fino a 1,15.

Per misurare il peso specifico di un elettrolita, si usa un *densimetro* del tipo a siringa, visibile in **figura 11.** Si aspira una parte della soluzione nel tubo di vetro che contiene un galleggiante graduato, costituito a sua volta da un tubo di vetro contenente aria, col collo allungato e col fondo appesantito.

La scala posta lungo il collo è graduata da 1,10 a 1,30. Il galleggiante assume una posizione che dipende dalla densità dell'elettrolita, in quanto minore è il peso specifico, più il galleggiante affonda (**figura 12**).

Dopo aver effettuata la lettura, occorre premere la sfera di gomma del densimetro per restituire alla cellula il liquido prelevato.

Il peso specifico (p.s.) dell'elettrolita è in funzione anche della sua temperatura poichè diminuisce quando la soluzione si riscalda, e viceversa. Se la temperatura della batteria varia notevolmente da quella di 27° C, è necessario correggere la lettura del densimetro, (**figura 13**), ossia aggiungere o sottrarre un millesimo ogni 1,5 gradi, rispettivamente in eccesso o in difetto, alla temperatura base di 27° C.

Consideriamo i due esempi seguenti:

se a 36°C il peso specifico è di 1,210 si ha un peso effettivo di 1,210 + 0,006 = 1,216 a 27°C,

se a 18°C il peso specifico è di 1,280, la correzione riferita a 27°C dà un peso di 1,280 — 0,006 = 1,274.

L'elettrolita di una batteria deve essere al suo livello normale al momento in cui si effettua la lettura, poichè se detto livello è inferiore, la densità è troppo alta, mentre se è superiore, avviene il contrario, essendo l'elettrolita troppo debole.

La tensione a circuito aperto (tensione senza corrente di scarica) di una cellula in cui il peso specifico dell'elettrolita sia di 1,28 è di circa 2,1 volt. Quando invece viene applicato un carico, la resistenza interna può fare in modo che la tensione scenda a 2 volt o meno.

MISCELE di ELETTROLITI

L'elettrolita di una batteria completamente carica contiene di solito il 38% del suo peso in acido solforico, corrispondente al 27% del volume, e, nella sua preparazione si usa esclusivamente acqua distillata. A vol-

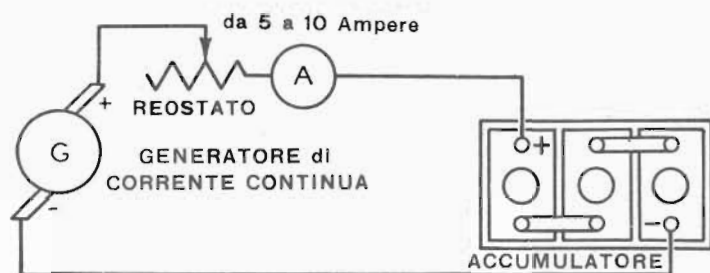



Fig. 14 - Disposizione del circuito per la carica di accumulatore o di una batteria di accumulatori. Si usa un generatore di corrente continua, un reostato che regola il regime di corrente, ed un amperometro che ne controlla l'ammontare. La durata della carica dipende dalla corrente erogata dal generatore, che non deve essere eccessiva per non danneggiare le piastre a causa di reazioni chimiche troppo violente.

te le batterie nuove vengono fornite unitamente a dei contenitori pieni di acido solforico concentrato con peso specifico di 1,835 o di elettrolita con peso specifico di 1,40; entrambi devono essere diluiti in acqua distillata al fine di raggiungere il peso specifico opportuno, (i contenitori di cui sopra sono normalmente di vetro, di terra refrattaria, di ebanite o di piombo).

Nella preparazione di elettroliti, è sempre necessario **aggiungere l'acido alla acqua** e mai l'acqua all'acido, e procedere molto lentamente onde evitare l'eccessivo sviluppo di calore o la dispersione dell'acido i cui spruzzi, se raggiungono l'operatore, possono essere estremamente pericolosi. Si deve avere anche la precauzione di agitare continuamente la soluzione con un corpo non metallico onde facilitare la mescolazione tra l'acido più pesante e l'acqua più leggera, ed evitare che il primo si depositi sul fondo. Quando l'acido è ben diluito, la soluzione si scalda notevolmente.

CAPACITA'

Come abbiamo detto precedentemente, la capacità di una batteria viene espressa in ampère/ora (Ah), che equivalgono al prodotto tra la corrente in ampère ed il tempo in ore durante il quale detta corrente può essere erogata. Tale capacità varia in proporzione inversa rispetto alla corrente di scarica. Le dimensioni di una cellula vengono determinate generalmente dalla sua capacità, che, a sua volta, dipende da molti fattori, i più importanti tra i quali sono: (1) la superficie delle piastre in diretto contatto con la soluzione elettrolitica, (2) la quantità ed il peso specifico di quest'ultima, (3) il tipo dei distanziatori o separatori, (3) le condizioni generali della batteria (grado di solfatazione, foratura delle piastre, corrosione dei separatori, sedimenti sul fondo, ecc.) ed infine (5) la tensione finale limite.

CARICA

Non è necessario che la batteria venga ricaricata ogni volta che il peso specifico della soluzione diminuisce di alcuni punti, in quanto, se la batteria viene sovraccaricata, si ha una produzione eccessiva di gas, e ciò può causare un logorio prematuro del materiale attivo che costituisce le piastre.

Quando il peso specifico di una batteria sottoposta ad uso intermittente o ad un periodo di breve attività, scende a 1,18 rispetto ad una lettura, in stato di carica, oscillante tra 1,21 e 1,22 allora essa deve essere sottoposta a ricarica. Una batteria completamente scarica il cui elettrolita abbia un peso specifico dell'ordine di 1,06 deve essere sempre ricaricata immediatamente e completamente.

Rapporto e tempo di carica

Ogni batteria deve essere caricata secondo i dati forniti dal fabbricante, ed in mancanza di questi, secondo le tabelle disponibili e relative ai vari tipi di batterie: è inoltre opportuno ricordare che in nessun caso la portata deve essere alta al punto tale da produrre una violenta ebollizione con emissione di gas, e che *la temperatura dell'elettrolita non deve mai superare i 52°C.*

La carica deve essere protratta fino al punto in cui la batteria è completamente carica. Durante il processo è necessario controllare frequentemente il peso specifico. Tali letture devono essere corrette sulla temperatura di 27°C e confrontate con quelle ottenute prima di iniziare la ricarica: se si conosce l'aumento del peso specifico in punti per ampère/ora, il tempo approssimativo necessario per una carica completa è dato da

$$\frac{\text{aumento del peso specifico in punti fino a carica completa x regime di carica in ampère}}{\text{aumento del peso specifico (in punti per Ah)}}$$

Emissione di gas

Quando una batteria è sotto carica, una parte dell'energia viene dissipata nell'elettrolisi dell'acqua costituente l'elettrolita, per cui l'idrogeno si libera dall'elettrodo negativo e l'ossigeno da quello positivo, gorgogliando attraverso il liquido e liberandosi nell'aria alla superficie. Se tale emissione si manifesta violentemente, non appena la batteria viene messa sotto carica, ciò significa che la portata di carica è eccessiva, mentre se ciò non avviene, le condizioni di carica completa vengono denunciate da una ebollizione normale che aumenta con l'aumentare della carica.

Poichè un miscuglio di idrogeno e di aria è pericoloso in quanto costituisce un esplosivo, è opportuno evitare la presenza di sigarette accese, di scintille elettriche, o di fiamma in prossimità della batteria sotto carica.

SIMBOLI - ABBREVIAZIONI

Ah = Amperora
CV = Cavallo = 736 watt
E = Tensione (in volt, mV, ecc.)
G = Conduttanza in mho
HP = Horse Power, = Cavallo vapore
kwh = kilowattore, = 1.000 watt all'ora
mho = Unità di conduttanza
Mwh = Megawattore = 1.000 kwh
P = Potenza (in watt)
wh = Wattore, = 1 watt all'ora, = 3.600 j
X = Asse orizzontale nei grafici
Y = Asse verticale nei grafici
μmho = Micromho, = 1/1.000.000 di mho
℧ = Simbolo di mho

FORMULE

$E = I \times R$
$E = P : I$
$E = \sqrt{P \times R}$
$G = 1 : R$
$I = E \times G$
$I = E : R$
$I = P : E$
$I = \sqrt{P : R}$
$P = E \times I$
$P = E^2 : R$
$P = I^2 \times R$
$R = E : I$
$R = E^2 : P$
$R = P : I^2$
$W = E \times I \times t$
$W = E^2 : Rt$
$W = I^2 \times Rt$
$W = P \times t$
$W = Q \times E$

SEGNI SCHEMATICI

= Generatore di corrente continua
= Generatore di corrente continua
= Lampadina a filamento incandescente

DOMANDE sulle LEZIONI 10ª e 11ª

N. 1
Quanti tipi di circuiti esistono?

N. 2 -
A quanto ammonta la tensione presente ai capi di una resistenza di 15 kohm, se la corrente che la percorre è di 35 milliampère?

N. 3 -
Cosa si intende per « conduttanza »?

N. 4 -
Un ferro da stiro elettrico dissipa una potenza di 900 W con una tensione di 110 V. Determinare la corrente che percorre la resistenza.

N. 5 -
Quale è la conduttanza di una resistenza in micromho se la corrente che la percorre è di 0,25 ampère e la tensione è di 100 volt?

N. 6 -
Cosa si intende per « kilowattora »?

N. 7 -
Tre resistenze, R1 di 35 ohm, R2 ed R3 di valore incognito sono collegate in serie, ed ai due terminali estremi è applicata una tensione di 120 V. Supponendo che la caduta di tensione ai capi di R2 sia di 30 V, e che la corrente circolante sia di 1,5 A., determinare: a) la resistenza di R2, b) la resistenza di R3, c) la potenza totale dissipata, d) la caduta di tensione presente ai capi di R3, e) la caduta di tensione ai capi di R1, ed f) la conduttanza totale del circuito in micromho.

N. 8 -
Quale è la differenza tra una cellula primaria ed una secondaria?

N. 9 -
Verso quale elettrodo si spostano gli ioni negativi in una cellula secondaria sotto carica?

N. 10 -
Quali sono gli effetti della polarizzazione sulla resistenza interna, sulla tensione e sulla corrente di uscita di una pila a secco?

N. 11 -
Quale è il compito del biossido di manganese nelle pile a secco?

N. 12 -
Se 10 pile da 1,5 V vengono collegate in serie, quale tensione si ottiene? Qual'è la corrente massima disponibile se ogni pila può erogare 1 ampère?

N. 13 -
Durante la scarica di un accumulatore, il peso specifico dell'elettrolita aumenta o diminuisce?

N. 14 -
Perchè i tappi degli elementi di un accumulatore sono forati?

RISPOSTE alle DOMANDE di Pag. 65

N. 1 - La ricezione contemporanea di due o più emittenti dovuta a scarsa selettività da parte del ricevitore.

N. 2 - Tre: l'alimentatore, l'oscillatore, ed il modulatore. Il complesso irradiante, ossia l'antenna, può essere considerato un quarto settore dell'intero impianto.

N. 3 - Quella parte di un apparecchio elettronico, sia esso un trasmettitore, un ricevitore o uno strumento di qualsiasi genere, nella quale il segnale entra ed esce dopo aver subito una modifica, nella forma o nell'ampiezza o nella frequenza.

N. 4 - La rivelazione, ossia la separazione dell'onda modulante dall'onda portante.

N. 5 - Un conduttore avvolto in spire isolate tra loro. Il suo compito è di costituire un valore induttivo, ossia di creare campi magnetici conformi alle correnti che la percorrono.

N. 6 - Di aumentarne o diminuirne l'induttanza, a seconda che venga introdotto più o meno nell'avvolgimento.

N. 7 - In due armature, semplici o complesse, costituite da materiale conduttore, reciprocamente affacciate senza toccarsi. Ha il compito di determinare una capacità, ossia di immagazzinare energia elettrica.

N. 8 - Quando è costituito da una armatura fissa e da una mobile, il cui spostamento varia la capacità.

N. 9 - Il magnete permanente, l'avvolgimento e la membrana vibrante detta anche « diaframma ».

N. 10 - Quello di mantenere la membrana sempre leggermente concava, anche in assenza di segnale. In tal modo essa può riprodurre le oscillazioni sia negative che positive.

N. 11 - Quello di rivelare separando la frequenza di modulazione dalla frequenza portante.

N. 12 - In base al principio del cristallo: esso infatti consente il passaggio della corrente in un unico senso, per cui all'uscita è presente una sola semionda di ogni Hertz.

N. 13 - Che la curva di risonanza del o dei circuiti oscillanti sia stretta, per cui, una volta effettuata la sintonia, una sola frequenza riesce a passare.

N. 14 - Aumentando i circuiti di selezione.

N. 15 - Eliminare l'alta frequenza che sopravvive alla rivelazione fugandola a massa.

N. 16 - In tre modi: variando la capacità, oppure variando l'induttanza, o variandole entrambe.

N. 17 - Perchè ogni circuito di selezione, sia esso semplice o a trasformatore, comporta una diminuzione della ampiezza del segnale dovuta alla resistenza ohmica delle induttanze.

N. 18 — Per evitare che le capacità e le induttanze parassite dei collegamenti stessi influiscano dannosamente sul funzionamento.

TABELLA 21 - COSTANTI FISICHE dei METALLI

METALLO	Resistenza in ohm/m mm²	Peso spec. in g/cm³	Temperatura fusione in C°	Aumentó res. C° per
Alluminio	0,028	2,70	660	0,430
Antimonio	0,410	6,62	630	0,360
Argentana	0,385	8,45	998	0,036
Argento	0,016	10,50	960	0,377
Berillio	0,100	1,85	1.280	0,400
Bismuto	1,200	9,80	270	0,400
Bronzo	0,175	8,50	905	0,390
Bronzo fosforoso	0,080	8,82	1.050	0,400
Cadmio	0,075	8,64	321	0,470
Cobalto	0,110	8,85	1.480	0,360
Costantana (55/45)	0,500	8,92	1.210	0,010
Cromo	0,925	7,10	1.820	0,510
Duralluminio	0,055	2,80	655	0,455
Electron	0,065	1,87	652	0,380
Ferro dolce	0,148	7,85	1.350	0,620
Ferro Nichel (75/25)	0,900	8,02	1.348	0,635
Ghisa	0,6-1,6	7,35	1.210	—
Litio	0,098	0,54	180	0,680
Magnesio	3,750	1,74	649	0,425
Manganina	0,440	8,50	1.200	0,000
Mercurio	0,958	13,55	-38,9	0,090
Molibdeno	0,052	10,20	2.630	0,035
Nichel	0,080	8,85	1.452	0,620
Nichelcromo (80/20)	1,020	8,30	1.353	0,750
Oro	0,023	19,32	1.063	0,400
Ottone	0,073	8,47	920	0,388
Piombo	0,212	11,37	327	0,430
Platino	0,985	21,40	1.771	0,360
Rame	0,175	8,89	1.083	0,400
Selenio	—	4,90	221	—
Silicio	0,595	2,35	1.416	—
Stagno	0,120	7,38	231	0,450
Stagno Piombo (60/40)	0,135	9,90	238	0,465
Tantalio	0,152	16,60	3.030	0,310
Tellurio	—	6,25	453	—
Titanio	—	4,50	800	—
Tungsteno	0,055	19,15	3.370	0,450
Uranio	—	18,70	1.695	—
Vanadio	0,061	5,70	1.820	—
Zinco	0,062	7,14	419	0,370

TABELLA 22 - ELENCO e CARATTERISTICHE degli ELEMENTI VOLTAICI PRIMARI

NOME	CATEGORIA	TIPO	ELETTRODO POSITIVO	ELETTRODO NEGATIVO	SOLUZ. ELETTROLITICA	DEPOLARIZZAZIONE	f.e.m. volt
Al Bicromato	Normale	a liquido	Carbone	Amal. Zinco	Acido solforico	Bicrom. Potas.	2 (circa)
Bunsen	»	»	»	»	»	Acid. Nitrico	1,8 »
Bunsen	»	»	»	»	Acido cromico	»	2 »
Daniell	»	»	Rame	»	Acido solforico	Solf. di Rame	1 »
Daniell (Kelwin)	Campione	»	»	»	Solf. Rame, Zinco		1,072
Fery Oxair	Normale	a secco	Carbone	»	Cloruro di Amm.	Ossigeno	1,3 (circa)
Latimer Clark	Campione	»	Mercurio	»	Solf. di Mercurio e di Zinco	-	1,43
Leclanché	Normale	a »	Carbone	»	Cloruro di Amm.	Bioss. Mang.	1,5 »
Volta	»	a liquido	Rame	Zinco	Acido solforico		1 »
Weston	Campione	a secco	Mercurio	Amal. Zinco	Solf. Mercurio e Cadmio	—	1,0188
Weston	Normale	»	»	»	Solf. Mercurio e Cadmio (con Cad. in eccesso)	—	1,0183 »

Come di consueto, riportiamo in questa lezione alcune tabelle che hanno attinenza sia con la materia svolta nel presente fascicolo, sia, naturalmente, con gli argomenti già tratti o che tratteremo in seguito.

La tabella 21 relativa alle costanti fisiche dei vari metalli e di alcune leghe, dimostrerà la sua utilità allorchè sarà necessario farsi un concetto della resistenza elettrica specifica, delle variazioni della stessa a causa della temperatura, e di altre importanti caratteristiche dei vari metalli usati in elettronica. Aiuterà ad esempio a comprendere per quale motivo la resistenza ohmica del filamento di una qualsiasi lampada varia a seconda che detto filamento sia spento o incandescente.

Potranno inoltre presentarsi dei casi in cui occorrerà determinare il peso di un componente metallico conoscendone il volume, o la temperatura di fusione, che non dovrà essere raggiunta o superata per ragioni di sicurezza.

La tabella 22 elenca i tipi e le caratteristiche delle principali pile primarie fino ad oggi note. Tra i tipi citati, alcuni portano — nella colonna della categoria — la voce « campione »; è bene chiarire tale concetto.

Esistono casi in cui, per compiere misure o per ottenere determinati risultati, è necessario poter disporre di una sorgente di tensione la cui d.d.p. sia rigorosamente esatta e costante. A tale scopo vengono adottate appunto le pile campione, che si differenziano dalle pile normali per due motivi. Innanzitutto, i materiali che le compongono sono scelti tra i meno sensibili alle variazioni di temperatura — per cui la tensione si mantiene costante nonostante le variazioni eventuali della temperatura ambiente — in secondo luogo, esse erogano correnti più deboli delle pile normali, in quanto il loro uso non è riservato all'accensione di lampade tascabili, di filamenti, ecc. e cioè all'alimentazione di circuiti aventi un certo consumo, bensì hanno il compito di fornire, per un tempo indeterminato, una tensione costante, che serve o per confronto con una altra, o per determinare a sua volta fenomeni indiretti. Esistono, ad esempio, speciali strumenti usati negli ospedali, che, per il funzionamento, hanno bisogno di una sorgente di tensione costante, detta « tensione di repere »; con essa vengono confrontate le tensioni emesse dai muscoli del corpo umano in movimento: si tratta degli elettrocardiografi che a tempo debito illustreremo, nelle lezioni dedicate alle varie applicazioni dell'elettronica.

Nella sesta lezione è stata inclusa una tabella che consente di determinare a priori la corrente massima ammissibile in una data resistenza, conoscendone il valore ohmico ed il wattaggio nominale. Detta tabella viene ora completata con quella inserita nella presente lezione, con la quale è invece possibile determinare a priori la massima tensione applicabile ai capi di una resistenza nota. La tabella 23 è stata infatti ricavata dalla formula che determina la tensione in funzione della resistenza e della potenza, ossia:

$$E \text{ (tensione)} = \sqrt{\text{Potenza} \times \text{Resistenza}}$$

oppure dalla formula:

$$E = \text{Potenza} : \text{Corrente}$$

Come apprendiamo dalla legge di Ohm, la tensione, la corrente, la resistenza e la potenza riferite ad un circuito semplice sono tra loro in stretta relazione: variando una sola delle quantità, varia in corrispondenza almeno una delle altre. Tenendo quindi fissi e determinati i valori di resistenza ohmica e di potenza (dissipazione nominale) di una resistenza, è possibile, con l'aiuto di tale tabella, determinare quale è la massima tensione che, applicata ai capi della stessa, determina il passaggio della massima corrente consentita e riportata nella tabella precedente (lez. 6ª, pag. 44). Il lettore troverà utili tali tabelle allorchè inizierà a cimentarsi con le realizzazioni pratiche e con i primi progetti di circuiti, in quanto avrà la possibilità di scegliere la potenza adatta ad ogni singola resistenza onde evitare che questa si riscaldi o bruci per eccesso di corrente.

La tabella 24 riportata a pagina 93, ha il solo compito di chiarire per un'ultima volta e definitivamente i concetti basilari dei fenomeni elettrici, mediante la ben nota analogia con il passaggio dell'acqua attraverso le tubazioni. Consultando tale tabella, il lettore che non avesse ancora assimilato a fondo i concetti principali di volt, ampère, watt, ohm, ecc. potrà riscontrare le relative analogie rispettivamente con la pressione, la

TABELLA 23 - TENSIONE MASSIMA in volt AMMISSIBILE ai CAPI di UNA RESISTENZA

VALORE di R	1/8 W	1/4 W	1/2 W	1 W	2 W	3 W	5 W	10 W	20 W
50	2,5	3,5	5,0	7,0	10,0	12,2	15,6	22,4	31,6
100	3,5	5,0	7,0	10,0	14,1	17,3	22,4	31,6	44,7
150	4,3	6,1	8,6	12,2	17,3	21,2	27,4	38,7	54,7
200	5,0	7,1	10,0	14,1	20,0	24,5	31,6	44,7	63,2
250	5,6	7,9	11,2	15,8	22,4	27,4	35,4	50,0	70,0
300	6,1	8,6	12,5	17,3	24,5	30,0	38,7	54,7	77,5
350	6,6	8,7	13,4	18,7	26,5	32,4	41,8	59,2	83,5
400	7,0	10,0	14,1	20,0	28,3	34,7	44,7	63,2	89,2
450	7,5	10,8	15,0	21,2	30,0	36,7	47,5	67,2	95,0
500	7,9	11,2	15,8	22,4	31,6	38,7	50,0	70,0	100,0
600	8,6	12,5	17,3	24,5	34,6	42,4	54,7	77,5	110,0
700	8,7	13,4	18,7	26,5	37,4	45,8	59,2	83,5	118,0
800	10,0	14,1	20,0	28,3	40,0	49,0	63,2	89,2	126,5
900	10,6	15,0	21,2	30,0	42,5	52,0	67,2	95,0	134,5
1.000	11,2	15,8	22,4	31,6	44,7	54,7	70,0	100,0	141,4
1.500	13,7	19,4	27,4	38,7	54,5	67,4	86,5	122,5	173,0
2.000	15,8	22,4	31,6	44,7	63,2	77,5	100,0	141,4	200,0
2.500	17,7	25,0	35,4	50,0	70,0	86,5	112,0	156,0	224,0
3.000	19,4	27,4	38,7	54,7	77,5	95,0	122,5	173,0	245,0
3.500	20,9	29,6	41,6	59,2	83,6	102,5	132,5	187,0	265,0
4.000	22,4	31,6	44,7	63,2	89,5	109,5	141,4	200,0	283,0
4.500	23,7	33,5	47,4	67,0	95,0	115,5	150,0	212,0	300,0
5.000	25,0	35,4	50,0	70,0	100,0	122,5	156,0	224,0	316,2
6.000	27,4	38,7	55,5	78,5	109,5	134,0	173,0	245,0	346,0
7.000	29,6	41,6	59,0	83,5	118,2	145,0	187,0	265,0	374,0
8.000	31,6	44,7	64,0	89,5	126,5	155,0	200,0	283,0	400,0
9.000	33,5	47,4	68,5	95,0	134,5	164,5	212,0	300,0	425,0
10.000	35,4	50,0	70,7	100,0	141,4	173,5	224,0	316,2	447,5
11.000	37,1	53,0	74,0	105,0	148,2	181,5	235,0	331,0	468,0
12.000	38,7	55,5	77,5	109,5	155,0	189,5	245,0	346,0	490,0
13.000	40,3	57,5	80,0	114,0	161,0	197,5	255,0	360,0	510,0
14.000	41,6	59,0	83,0	118,2	167,3	205,0	265,0	374,0	528,0
15.000	43,2	61,2	86,5	122,5	173,5	212,0	274,0	387,5	547,0
16.000	44,7	64,0	89,5	126,5	178,8	219,0	283,0	400,0	565,0
17.000	46,1	67,5	92,0	130,5	184,5	226,0	291,5	412,0	582,5
18.000	47,4	68,5	95,0	134,0	189,5	232,5	300,0	425,0	600,0
19.000	48,7	69,5	97,5	137,8	195,0	239,0	308,0	436,0	615,0
20.000	50,0	70,7	100,0	141,4	200,0	245,0	316,2	447,5	632,5
25.000	56,0	79,5	112,0	158,0	224,0	274,0	345,0	500,0	708,0
30.000	61,2	86,2	122,5	173,0	245,0	300,0	387,5	547,0	775,0
40.000	70,7	100,0	141,4	200,0	283,0	347,0	447,0	632,5	895,0
50.000	79,0	112,0	158,0	224,0	316,0	387,0	500,0	708,0	1.000,0
75.000	96,9	137,0	194,0	274,0	387,0	475,0	612,0	865,0	1.225,0
100.000	112,0	158,0	224,0	316,0	447,0	547,0	700,7	1.000,0	1.414,0
150.000	137,0	194,0	274,0	387,0	547,0	670,0	865,5	1.225,0	1.730,0
200.000	158,0	224,0	316,0	447,0	632,0	774,0	1.000,0	1.414,0	2.000,0
250.000	177,0	250,0	354.0	500,0	707,0	865,0	1,120,0	1.560,0	2.240,0
300.000	194,0	275,0	388,0	547,0	774,0	950,0	1.225,0	1.730,0	2.450,0
400.000	224,0	320,0	447,0	632,5	894,0	1.100,0	1.414,0	2.000,0	2.840,0
500.000	250,0	354,0	500,0	707,0	1.000,0	1.225,0	1.560,0	2.240,0	3.162,0
1 Mohm	354,0	500,0	715,0	1.000,0	1.410,0	1.735,0	2.240,0	3.162,0	4.470,0
2 »	500,0	715,0	1.000,0	1.410,0	2.000,0	2.450,0	3.162,0	4.470,0	6.320,0
5 »	790,0	1.120,0	1.580.0	2.410,0	3.160,0	3.870,0	5.000,0	7.070,0	10.000,0
10 »	1,120.0	1.580,0	2.240.0	3.160,0	4.460,0	5.470,0	7.007,0	10.000,0	14.150,0

TABELLA 24 - ANALOGIA tra TERMINI ed UNITA' IDRAULICHE ed ELETTRICHE

ANALOGIA IDRAULICA			TERMINI ed UNITA' ELETTRICHE					
Termine	Unità di misura	Sistema di controllo	Termine	Unità di misura	Sistema di controllo	Sistema di misura	Simbolo e abbreviazioni	Rapporto con la legge di Ohm
Pressione	Peso per unità di superficie kg/cm^2	Pompa	**Forza elettromotrice**	Volt	C.C. batterie generatori C.A. alternatori trasformat.	Voltmetro	E = tensione applicata e = caduta tensione	Corrente × Resistenza I × R
Acqua	Portata in litri/sec	Rubinetto Valvola	**Corrente**	Ampère	Reostato Potenziom. Interrutt.	Amperometro	I = Corrente	$\frac{\text{Tensione}}{\text{Resistenza}}$ E : R
Resistenza	coefficiente di durezza, attrito, ecc.	Trazione Torsione Attrito	**Resistenza**	Ohm	Lunghezza sezione, materiale	Ohmetro Ponte	R = Resistenza	$\frac{\text{Tensione}}{\text{Corrente}}$ E : I
Potenza	Cavalli di potenza	Pressione di uscita al getto	**Potenza**	CV, HP, Watt, ecc.	Tensione e corrente	Wattmetro	P = Potenza W = Watt VA = Voltampere	$E \times I$ $I^2 \times R$ $E^2 : R$
Energia	Cavalli per ora	Potenza e tempo	**Energia**	Watt/sec wattore ecc.	Contatore	Watt/ sec Wattore kilowattore	Potenza e Tempo W h	$P \times T$

portata, la potenza, l'attrito, ecc. E' bene tener presente che, da questa lezione in poi, tali concetti saranno considerati come acquisiti, essendo la loro esatta interpretazione base fondamentale allo svolgimento degli argomenti trattati in futuro. Nella colonna « Sistema di misura », sono citati degli strumenti, come ad esempio « voltmetro », « ohmetro », ecc. ai quali non è ancora stato fatto alcun riferimento. La parola « metro » derivata dal greco, significa « misura », per cui, aggiunta in coda ad un'altra parola esprimente una quantità, compone il nome dello strumento che serve a misurare quest'ultima. Come infatti il « cronometro » (cronos = tempo) è un apparecchio atto alla misura del tempo così il voltmetro consente di misurare i volt, ossia la tensione, l'ohmetro la resistenza, ecc. Di tali strumenti ci occuperemo dettagliatamente in seguito.

Il grafico riportato a pag. 94 (tabella 25), è di fondamentale importanza allorchè si desideri progettare un circuito senza ricorrere alla continua applicazione delle note formule della legge di Ohm. Esso esprime con sufficiente approssimazione tutte le relazioni che intercorrono tra tensione, corrente, resistenza e potenza. Supponiamo, ad esempio, di dover progettare un circuito che, alimentato da una tensione di 150 volt, debba essere percorso da una corrente di 15 mA. Il grafico, di forma rettangolare, va tenuto in modo che il lato contrassegnato « I mA » funga da base. Si individua sul lato verticale sinistro, contrassegnato E VOLT, il valore di tensione di 150 V., e si segue la linea orizzontale così individuata fino ad incontrare la coordinata verticale che ha inizio sul punto della base corrispondente a 15 mA. Il punto di incontro delle due coordinate individua a sua volta una diagonale inclinata verso destra che corrisponde al valore ohmico di 10.000 ohm riportato sul lato orizzontale superiore. Se a questo punto vorremo conoscere la dissipazione in watt di tale circuito, non avremo che da individuare la retta inclinata verso sinistra e passante sempre per il medesimo punto di incontro delle coordinate. Sulla scala dei watt, tale retta fa capo in un punto intermedio tra 2 e 3 watt, ma più prossimo al due che al tre. Ciò significa che la dissipazione ammonta con buona approssimazione a 2,25 watt.

L'utilità di tale grafico sarà facilmente palese dopo una attenta osservazione: per comodità di trascrizione, una parte dei valori è stata riportata ad una estremità di ogni singola retta, ed una parte in corrispondenza dell'estremità opposta. Inoltre, non essendo possibile tracciare tutte le rette intermedie, ogni volta che si incontrerà un valore che non corrisponde ad alcuna retta presente occorrerà tracciarne una immaginaria che potrà essere facilmente individuata con l'aiuto di un righello o di una squadra da disegno, così come abbiamo fatto nel caso della dissipazione di 2,25 watt nell'esempio considerato. A tutto ciò va ancora aggiunto che il grafico è reversibile in ogni senso, in quanto è possibile determinare la tensione ed il wattaggio conoscendo la corrente e la resistenza: la tensione e la resistenza conoscendo la dissipazione e la corrente, ecc. In altre parole, è sufficiente conoscere due dei valori riportati per individuare gli altri due mediante l'uso del grafico. Per ultimo è da notare che i valori possono essere estesi secondo il sistema decimale, moltiplicando o dividendo i valori riscontrati per 10 o per multipli o sottomultipli di 10, a seconda che le grandezze considerate siano direttamente o inversamente proporzionali.

E VOLT
I mA
1
2
3
4
5
6
8
10
20
30
40
50
60
80
100
200
300
400
500
600
800
1000
0,1mA
0,5mA
1mA
5mA
10mA
50mA
100mA
500mA
1Amp.
5Amp.
10Amp.
0,0001W
0,0005W
0,001W
0,005W
0,01W
0,05W
0,1W
0,5W
1W
5W
10W
50W
100W
500W
1000W
5 KW
10 MEG.
5 MEG.
3 MEG.
2 MEG.
1 MEG.
100,000 Ω
10,000 Ω
1000 Ω
100 Ω
50 Ω
10 Ω
5 Ω
1 Ω
0,5 Ω
0,2 Ω
0,1 Ω

---

corso di RADIOTECNICA

pubblicazione settimanale - 29 ott. - 5 nov. 1960 - un fascicolo lire 150 **5°** numero

corso di

RADIOTECNICA

settimanale a carattere culturale

Direzione, Amministrazione, Pubblicità:
Via dei Pellegrini 8/4 - Telef. 593.478

MILANO

Ogni fascicolo — contenente 3 lezioni — costa lire 150, acquistato alle edicole.

Se l'edicola risulta sprovvista, o si teme di rimanere privi di qualche numero, si chieda invio settimanale direttamente al proprio domicilio a mezzo abbonamento.

Il versamento per ricevere i 52 fascicoli costituenti l'intero Corso è di lire 6500 + I.G.E. = lire 6630. A mezzo vaglia postale, assegno bancario, o versamento sul conto corr. postale 3/41.203 del « Corso di RADIOTECNICA » - Via dei Pellegrini 8-4 - Milano. In ogni caso, scrivere in modo molto chiaro e completo il proprio indirizzo.

L'abbonamento può essere effettuato in qualsiasi momento; si intende comprensivo delle lezioni pubblicate e dà diritto a ricevere tali lezioni, che saranno inviate con unica spedizione.

Estero: abbonamento al Corso, Lit. 8.500. ($ 15). Numeri singoli Lit. 300 ($ 0,50).

Per i cambi di indirizzo durante lo svolgimento del Corso, unire lire 100, citando sempre il vecchio indirizzo.

Fascicoli singoli arretrati — se disponibili — possono essere ordinati a lire 300 cadauno.

Non si spedisce contrassegno.

Distribuzione alle edicole di tutta Italia: Diffus. Milanese . Via Soperga, 57 - Milano.

Direttore responsabile: Giulio Borgogno.

Autorizzaz. N. 5357 - Tribunale di Milano.

Stampa: Intergrafica S.r.l. - Cologno Monzese.

La Direzione non rivende materiale radio; essa può comunicare, se richiesta, indirizzi di Fabbricanti, Importatori, Grossisti ecc. in grado di fornire il necessario ed ai quali il lettore può rivolgersi direttamente.

Alla corrispondenza con richiesta di informazioni ecc. si prega allegare sempre il **francobollo per la risposta.**

Parte del testo e delle illustrazioni è dovuta alla collaborazione del Bureau of Naval Personnel, nonchè al Dept. of the Army and the Air Force - U.S.A.

A chi può essere utile questo Corso? Anzitutto — stante la sua impostazione — il Corso, basato sull'esposizione in forma a tutti accessibile, della radiotecnica, dai suoi elementi basilari alla evoluzione più recente, rappresenta la forma ideale per tutti coloro che intendono dedicarsi all'elettronica, sia come forma ricreativa sia — soprattutto — per l'acquisizione di una professione specializzata che possa procurare loro una posizione di privilegio in seno alla società odierna.

Anno per anno, la nostra civiltà si indirizza sempre più verso questa meravigliosa, si potrebbe dire fascinosa, elettronica, che nel modo più evidente consente sviluppi impensati, progressi grandiosi e una rapida evoluzione di tutti gli altri rami dello scibile che essa tocca e influenza.

L'industria, tutta l'industria, nel senso più ampio, da quella elettrotecnica a quella meccanica, alla metallurgica, alla chimica ecc., con i suoi laboratori di ricerca e le sue fabbriche richiede, e richiederà sempre più, con un ritmo rapidamente crescente, tecnici specializzati con conoscenza dell'elettronica, tecnici specificatamente elettronici e persino operai e impiegati di ogni ordine e categoria con cognizioni di elettronica.

Si può dire che anche le branche commerciali, quelle dei trasporti e persino quelle amministrative con le recenti introduzioni delle calcolatrici, abbisognano di personale che conosca i principi dell'elettronica, le macchine relative, il loro pieno sfruttamento, la eventuale riparazione ecc. e, quanto più in modo completo, quanto meglio.

Nasce, da una tale situazione, una logica conseguenza: per la scelta di una professione o di un mestiere, per un miglioramento della propria posizione sociale, per l'intrapresa di una libera attività o anche per la sola acquisizione di cognizioni che indubbiamente verranno oltremodo utili, è quanto mai opportuno riflettere se non sia conveniente dedicare un po' di tempo allo studio di questa scienza che ha tra l'altro il pregio di rendersi immediatamente attraente, concreta, accessibile e foriera di moltissime soddisfazioni.

A questo scopo appunto, e con questi intenti, è stato redatto questo Corso.

Non mancano invero altri corsi (specie per corrispondenza) o scuole di radiotecnica, nè mancano (sebbene siano in numero del tutto inadeguato) scuole statali o pareggiate ma la struttura e l'impostazione che caratterizzano queste 156 lezioni sono alquanto particolari, presentando non pochi vantaggi sulle diverse altre forme di cui si è detto.

Anzitutto vogliamo porre in evidenza **il fattore economico.**

Frequentare regolarmente, durante tutto l'anno, una scuola è certo il modo più logico — anche se non il più rapido — per apprendere ma, tralasciando il fatto che rarissimi sono gli Istituti di radiotecnica, è a tutti possibile dedicarsi esclusivamente, e per l'intero anno, allo studio? Noi riteniamo che chi può farlo costituisca oggi assai più l'eccezione che la regola. Ciò significa infatti poter disporre liberamente del proprio tempo senza avere la necessità di un contemporaneo guadagno: il nostro Corso permette a chiunque di studiare a casa propria, nelle ore libere dal lavoro, senza abbandonare o trascurare quest'ultimo. Ciò caratterizza invero anche altri corsi, ma il vantaggio economico diviene notevole ed evidentissimo se si considera che di fronte all'esborso, anche se rateale, di quasi 80.000 lire che i corsi per corrispondenza richiedono, seguendo il nostro Corso la spesa in un anno risulta di poco più di 7500 lire (150 lire alla settimana presso un'edicola) o di 6630 lire totali, con recapito postale, settimanale, delle lezioni a domicilio.

E' superfluo dire che la Modulazione di Frequenza, i transistori, i circuiti stampati, la trasmissione, il telecomando ecc. sono argomenti integrali del Corso e non costituiscono motivo di corsi speciali, aggiunti o particolari.

Le lezioni di questo Corso — a differenza di molte altre — non sono stampate con sistemi di dispensa, a ciclostile, o con sistemi più o meno analoghi, derivanti cioè da un originale battuto a macchina da scrivere; esse sono stampate in uno stabilimento grafico, con chiari caratteri tipografici da cui deriva una assai più agevole lettura e — fattore certamente di non secondaria importanza — un contenuto molto più ampio, corrispondendo una pagina a stampa a tre o quattro pagine di quelle citate. Il lettore avrà, alla fine del Corso, un volume di ben 1248 pagine di grande formato!

Chiunque, indipendentemente dall'età, dalla professione e dalle scuole compiute **può seguire il Corso.** Alle esposizioni teoriche si abbinano numerose, attraenti, istruttive ed utili descrizioni che consentono la realizzazione di ricevitori, amplificatori, strumenti vari e persino di trasmittenti su onde corte.

A questo proposito è sintomatico il fatto che la Direzione non vuole assolutamente assumere la fisionomia di un fornitore o commerciante di materiale radio, rivendendo agli allievi le parti necessarie. Il materiale occorrente l'interessato può acquistarlo dove e come meglio crede e, assai spesso anzi, già ne dispone. Viene così evitato l'acquisto forzoso, caratteristico più o meno di tutti gli altri corsi.

Anche chi è già radiotecnico, anche chi ha seguito o segue altri corsi troverà il massimo tornaconto in questo completo ed aggiornato lavoro. Molte nozioni, è logico, saranno note, altre un po' meno e sarà utile rinfrescarle, e il tutto infine costituirà un manuale di consultazione, prezioso tanto per la teoria esposta quanto per i numerosi schemi, per le tabelle, per i grafici, gli elenchi, i dati, il vocabolario dei termini ecc.

Concludendo, si può affermare che questo **Corso di Radiotecnica** oltre che come insegnamento graduale si presenta come **enciclopedia e rivista assieme** ciò che permette di formare — con modestissima spesa — **il più completo, ricco, utile e pratico volume di radiotecnica di cui sia dato oggigiorno disporre.**

MAGNETISMO ed ELETTROMAGNETISMO

E' a tutti nota la particolare caratteristica offerta dalle cosiddette « calamite » e cioè la possibilità che esse hanno di esercitare una forza di attrazione sul ferro, sull'acciaio, sul nichel e sul cobalto. Questa forza di attrazione viene detta **magnetismo** e **materiali magnetici** vengono definiti i materiali citati sui quali la forza ha effetto; **magnete** è, con termine più appropriato, la calamita.

I magneti entrano a far parte di molti dispositivi elettrici di uso corrente, basti citare, l'altoparlante, la cuffia, alcuni tipi di microfoni e gli strumenti di misura.

Un ago di acciaio, magnetizzato nel modo che descriveremo in seguito, ha due punti di massima attrazione, situati precisamente alle sue estremità; al centro, l'attrazione è invece nulla. I punti in cui l'attrazione è massima vengono denominati **poli magnetici** e in ogni magnete essi sono almeno due. Se l'ago magnetizzato viene sospeso in modo che possa ruotare liberamente su un piano orizzontale (poggiato, ad esempio, su di un perno nel suo punto di centro oppure posato su un leggero supporto galleggiante su di un liquido) esso tende ad assumere una posizione diretta approssimativamente lungo l'asse Nord-Sud, in modo tale che, in corrispondenza dei due poli terrestri, si hanno sempre i medesimi poli magnetici. Quello dei due poli che punta verso il Nord si chiama polo Nord, e viceversa. Questa caratteristica è quella sfruttata per realizzare il noto strumento di orientamento detto « bussola ».

Intorno ad una semplice barra magnetizzata esiste sempre un **campo magnetico,** che consiste di linee immaginarie lungo le quali agisce la forza magnetica; esse vengono emanate dal polo Nord, e ritornano al polo Sud attraverso lo spazio circostante per raggiungere nuovamente il polo di origine attraverso il magnete stesso: in tal modo si forma un circuito magnetico chiuso.

Per **circuito magnetico** si intende perciò **un percorso definito, lungo il quale si manifestano le linee di forza create dalla forza magnetica.** Tale percorso è costituito in massima parte da materiale magnetico atto a permettere la presenza delle linee.

Essenzialmente, il circuito magnetico è analogo al circuito elettrico, attraverso il quale passa una corrente elettrica sotto l'influenza della forza elettromotrice. Così pure può rilevarsi l'analogia col campo elettrostatico di cui si è detto a pagina 30.

I magneti possono essere divisi in tre categorie: **magneti naturali,** che, allo stato naturale, si trovano sotto forma di un minerale detto « magnetite »; **magneti artificiali** (*permanenti*), costituiti da acciaio temperato (o da speciali leghe appositamente studiate, ad esempio acciaio con nichel, cobalto ecc.) e magnetizzati artificialmente una volta per sempre, ed *elettromagneti*, ossia nuclei di ferro dolce intorno al quale si trovano degli avvolgimenti di conduttore isolato, i quali, allorchè vengono percorsi da corrente, magnetizzano il nucleo stesso: detta magnetizzazione cessa però col cessare della corrente.

MAGNETI NATURALI

Già molti secoli fa, fu noto che alcuni minerali (ad esempio la magnetite: Fe_3O_4) hanno la caratteristica di attirare dei piccoli pezzi di ferro, e, dal momento che gran parte di questi minerali furono trovati in prossimità della località di Magnesia, in Asia Minore, i Greci definirono il materiale col nome di Magnetite.

I magneti naturali furono in seguito trovati anche negli Stati Uniti, in Norvegia ed in Svezia; la **figura 1-A** ne mostra l'aspetto generico.

MAGNETI ARTIFICIALI

Dal punto di vista pratico i magneti naturali furono ben presto soppiantati dai magneti artificiali costituiti da acciaio e da leghe speciali, come ad esempio l'Alnico, formato principalmente da alluminio, nichel e cobalto, ed il cui nome è derivato dalle iniziali dei nomi dei metalli che lo compongono (Al-ni-co). La **figura 1-B** mostra un magnete artificiale.

Una barra di ferro, di acciaio o di lega magnetica, può essere magnetizzata mediante l'inserimento in una bobina avvolta con filo isolato, attraverso la quale viene fatta passare una forte corrente continua come è illustrato nella sezione **A** della **figura 2**; in seguito vedremo più dettagliatamente come ciò si verifichi. La medesima barra può essere magnetizzata anche portandola a contatto con un'altra barra già magnetizzata, come è illustrato nella sezione **B** della **figura 2**; in questo caso la barra da magnetizzare assume, dopo il contatto, le medesime proprietà magnetiche di quella già magnetizzata, ossia ai suoi capi si formano due poli di attrazione. Tale processo permette la realizzazione di un magnete permanente mediante induzione: il magnetismo può venire facilmente indotto e cioè trasmesso in una barra grazie alla influenza di un secondo magnete.

I magneti o calamite artificiali possono essere classificati come *permanenti* o *temporanei*, a seconda che abbiano o meno la possibilità di mantenere l'energia magnetica anche dopo la cessazione della forza originale

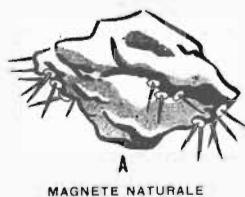



Fig. 1A - Frammento di materiale costituente un magnete naturale.

Fig. 2A - Magnetizzazione dell'acciaio mediante un campo elettromagnetico.

N S

(b) - Barre magnetizzate

Fig. 3 - Le molecole di una sostanza magnetica, non magnetizzata, sono altrettanti magneti orientati a caso. In seguito alla magnetizzazione essi si orientano tutti nel medesimo senso, per cui i rispettivi campi si sommano e, integrandosi, determinano la forza totale disponibile.

B

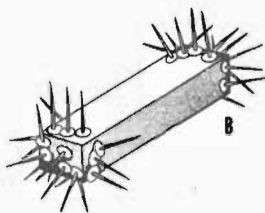



Fig. 1B - Magnete artificiale in acciaio, nichel o lega.

Fig. 2B - Sistema di magnetizzazione per contatto con un altro magnete.

che l'ha prodotta. L'acciaio temperato ed alcune leghe sono relativamente difficili da magnetizzare e vengono dette « a bassa permeabilità » in quanto le linee magnetiche di forza non si propagano facilmente in essi — in altre parole — non si distribuiscono rapidamente attraverso il materiale. Tuttavia, una volta magnetizzato, il materiale a bassa permeabilità conserva la maggior parte dell'energia magnetica acquisita, e costituisce perciò un magnete permanente. I magneti permanenti vengono usati ampiamente, come abbiamo già detto, in varie applicazioni nel campo dell'elettronica.

In modo analogo, ma contrario, tutti i materiali che si prestano facilmente alla magnetizzazione, come ad esempio il ferro dolce e l'acciaio al silicio ricotto, vengono detti « ad alta permeabilità ». Essi mantengono soltanto una piccola parte dell'energia magnetica non appena è cessata la forza che l'ha indotta, per cui vengono denominati magneti temporanei. L'acciaio al silicio ed altri materiali affini vengono impiegati per la costruzione dei trasformatori, nei casi cioè in cui l'energia magnetica varia continuamente, come pure nei generatori e nei motori nei quali la forza dei campi magnetici può essere variata rapidamente.

Il magnetismo che rimane in un magnete temporaneo in seguito alla rimozione dell'energia magnetizzante viene detto « magnetismo residuo », ed il fatto che una piccola quantità rimanga acquista un ruolo molto importante in quanto permette di creare — come vedremo — delle tensioni in generatori di corrente cosiddetti auto-eccitati.

NATURA del MAGNETISMO

Secondo una teoria — detta **teoria di Weber** sulla natura del magnetismo — si suppone che ogni molecola del magnete sia in sè stessa un piccolo magnete; tutte le molecole che costituiscono una barra non magnetizzata sono disposte a caso, come è illustrato nella sezione **A** della **figura 3.**

In tale condizione l'energia magnetica sviluppata da ognuna di esse viene neutralizzata da quella sviluppata nelle molecole adiacenti; per questo motivo, esternamente non si produce alcun effetto magnetico. Ma, allorchè a tale barra viene applicata una forza magnetizzate, le molecole si allineano in modo che tutti i poli Nord si dirigono nella medesima direzione, e tutti i poli Sud in direzione opposta; vedi sezione **B** della figura.

Se una barra magnetica viene spezzata in diverse parti, come è illustrato alla **figura 4,** ognuna di esse diventa un magnete completo, i cui poli hanno la medesima direzione dei poli originali: se ognuna di queste parti viene ulteriormente divisa, si formano altrettanti piccoli magneti la cui polarità mantiene sempre il medesimo orientamento. Se tale suddivisione potesse essere continuata all'infinito, si otterrebbero parti sempre più piccole ognuna delle quali avrebbe le caratteristiche di un magnete, fino a raggiungere le dimensioni di una molecola: è quindi logico supporre che ognuna di esse sia un magnete.

Un'ulteriore giustificazione di tale presupposto risulta dal fatto che, quando una barra magnetica viene mantenuta in una direzione diversa da quella del campo magnetico terrestre e viene ripetutamente battuta, riscaldata o esposta ad un potente campo magnetico applicato e tolto a rapidi intervalli, l'allineamento molecolare viene distrutto, ed il magnete si smagnetizza. Ad esempio, gli strumenti elettrici di misura perdono la loro precisione se i magneti permanenti in essi contenuti perdono una parte del loro magnetismo a causa di urti violenti o di una eventuale esposizione ad un campo magnetico opposto.

Una delle teorie sul magnetismo forse più adeguata ancora di quella molecolare, è la cosiddetta **teoria del « dominio »,** la quale viene espressa come segue.

In una sostanza magnetica i magneti « atomici » prodotti dal movimento planetario rotatorio degli elettroni intorno al nucleo hanno una notevole tendenza ad allinearsi in gruppi di 10^{14} a 10^{15} atomi pur senza l'influenza di un campo magnetico esterno. Tali gruppi di atomi, i cui poli sono orientati nella medesima direzione, vengono chiamati « dominî ». In ogni « dominio » si produce pertanto un intenso campo magnetico. Detti campi hanno normalmente un orientamento casuale per cui non si verificano effetti magnetici esterni finchè la sostanza è un tutto smagnetizzato. Poichè ogni piccolo dominio (10^6 di essi possono essere contenuti in un millimetro cubo) ha sempre il massimo grado di magnetizzazione, l'aggiunta di un campo magnetico esterno non può aumentarne la magnetizzazione intrinseca.

Tuttavia, se al materiale si applica un campo magnetico esterno che aumenta progressivamente, i dominî si allineano uno per uno (o a gruppi) col campo esterno.

La **figura 5** riproduce graficamente l'andamento (normale curva) di magnetizzazione nei confronti della forza

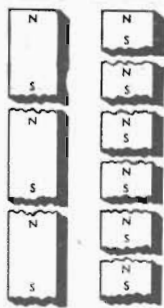



Fig. 4 - Dividendo una barra magnetica si hanno magneti più corti, a polarità alterne.

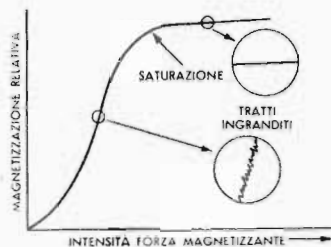



Fig. 5 - Curva di magnetizzazione di un magnete artificiale, in funzione della forza magnetizzante. Oltre un certo valore non si ha più aumento della intensità magnetica.

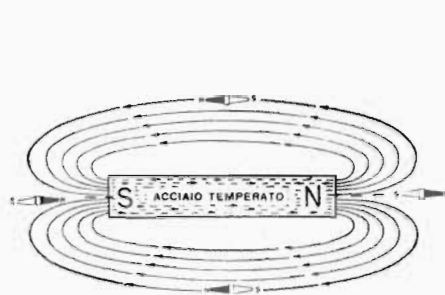



Fig. 6A - Mediante una bussola è possibile determinare la polarità di un magnete: il polo Nord dell'ago è sempre rivolto verso il polo Sud del magnete.

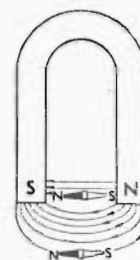



Fig. 6B - Distribuzione delle « linee di forza » in un magnete a ferro di cavallo; con una bussola si possono determinare le polarità.

del campo magnetico applicato: se il campo magnetico viene aumentato di piccolissime quantità e l'aumento di magnetizzazione corrispondente viene osservato in dettaglio, si può notare che la curva è molto irregolare fino al punto di saturazione. Il motivo di tale irregolarità è dovuto al fatto che i dominî si allineano soltanto in seguito alla applicazione di una forza magnetizzante apprezzabile, per cui si verifica una serie di aumenti di magnetizzazione improvvisi, man mano che i vari dominî, o i loro vari gruppi, subiscono l'influenza della forza esterna raggiungente il dovuto grado di intensità.

In altre parole, con l'aumentare della forza magnetizzante in maniera graduale, si può verificare un intervallo nel quale non esiste un apprezzabile aumento di magnetizzazione, dopo di che quest'ultima aumenta però rapidamente in quanto un maggior numero di dominî viene ad allinearsi. Tali aumenti improvvisi ed irregolari continuano fino al punto di saturazione, ossia fino al punto in cui tutti i dominî risultano allineati nella direzione della forza esterna.

CAMPI MAGNETICI e LINEE di FORZA

Se una barra magnetica viene immersa nella limatura di ferro, gran parte di quest'ultima viene attratta dalle estremità del magnete stesso, mentre nessuna particella viene attratta dal centro: come abbiamo già accennato precedentemente, tali estremità, ove l'attrazione è massima, vengono denominati « poli ».

Mediante l'uso di una bussola è possibile osservare la direzione della forza magnetica nei vari punti in prossimità del magnete in quanto lo stesso ago della bussola in questione è un magnete. Il suo polo Nord si metterà sempre in direzione del polo Sud, S, come è illustrato dalla sezione **A** della **figura 6**, per cui si ottiene una indicazione esatta della direzione nei confronti della polarità del magnete.

Quando la bussola si trova al centro della barra, l'ago assume una posizione parallela alla barra stessa: mentre, se viene posta successivamente in punti diversi, l'ago si allinea col campo magnetico della barra corrispondente ad ogni posizione. La direzione del campo è indicata dalle frecce e rappresenta la direzione nella quale punterà l'ago non appena la bussola entrerà nel campo magnetico. Le linee lungo le quali detto ago si dispone vengono denominate **linee magnetiche di forza**, le quali, come abbiamo detto precedentemente, si presume siano emanate dal polo Nord dopo di che ritornano al punto di origine passando attraverso lo spazio circostante e quindi rientrano nel magnete dal polo Sud. La sezione **B** della **figura 6** illustra la distribuzione delle linee di forza di un magnete foggiato nella classica forma a ferro di cavallo.

Lo spazio che circonda un magnete e nel quale agiscono le linee di forza magnetiche si chiama, come sappiamo, « campo magnetico »; Michele Faraday fu il primo scienziato che ne rese l'idea descrivendolo come un campo in stato di tensione costituito da linee di forza uniformemente distribuite. Il complesso di dette linee costituisce il flusso magnetico che può essere paragonato alla corrente in un circuito elettrico.

Il numero delle linee di forza in funzione dell'unità di superficie viene denominato **densità di flusso** e viene misurato in linee per centimetro quadrato mediante la seguente formula:

$$B = \frac{\Phi}{A}$$

nella quale B è la densità di flusso, Φ (lettera greca: fi) è il numero totale delle linee di flusso ed A è la sezione trasversale del circuito magnetico. Se A è espressa in cm^2, B è espressa in *linee per cm^2* ossia in **gauss**.

Nei testi moderni ricorre spesso sia il termine « flusso » che il termine « passaggio di energia magnetica », tuttavia non si ritiene che il magnetismo sia una corrente di particelle in movimento, bensì un semplice campo di energia esteso nello spazio. Il numero di linee di forza per unità di superficie può essere misurato facendo ruotare una piccola spira di filo ad una velocità costante in presenza di un circuito magnetico, in modo tale che detta spira tagli le linee di forza che costituiscono il campo: in questo caso si genera nel filo della spira una tensione proporzionale alla densità del flusso magnetico tagliato.

E' possibile ottenere una rappresentazione ottica del campo magnetico appoggiando su una calamita una lastra di vetro sulla quale si distribuisce poi della limatura di ferro. Essa si sistema lungo linee visibili tra i poli, che dimostrano la via seguita dal campo magnetico intorno al magnete stesso, come è illustrato alla **figura 7**.

Il campo magnetico che circonda un magnete di forma simmetrica ha le seguenti proprietà:

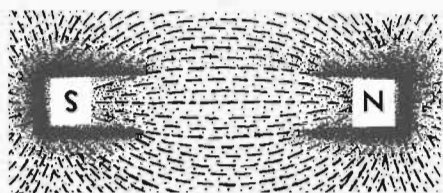



Fig. 7 - Controllo della distribuzione delle linee di forza di un magnete, effettuato mediante una lastra di vetro — posta sopra il magnete stesso — sulla quale è stata depositata della limatura di ferro che si orienta secondo il disegno riprodotto.

Fig. 8 - Dimostrazione dell'attrazione dei poli opposti, e della repulsione dei poli analoghi, mediante un magnete permanente fisso ed uno libero di ruotare intorno ad un asse.

1 - il campo è simmetrico, a meno che non venga deformato da un'altra sostanza magnetica.

2 - le linee di forza hanno una loro direzione, tale che esse escono dal polo Nord ed entrano nel polo Sud.

3 - l'ago di una bussola posta in qualsiasi punto nel campo magnetico subisce sempre una deflessione tale che il terminale Nord punta costantemente nella direzione delle linee di forza (cioè verso il polo Sud).

4 - la maggiore intensità del campo si verifica in prossimità delle superfici dei poli, e diminuisce con l'aumentare della distanza dagli stessi.

LEGGI di ATTRAZIONE e di REPULSIONE

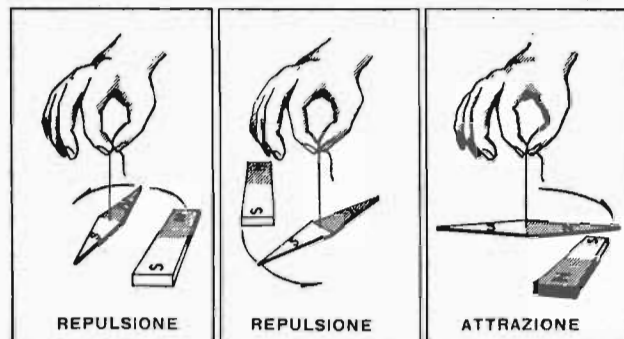
Se un ago magnetizzato viene sospeso in prossimità di una barra magnetica, come si vede nella **figura 8,** si nota che il polo Nord viene respinto dal polo Nord del magnete, ed analogamente tale repulsione si verifica tra i rispettivi poli Sud: tuttavia, i poli opposti si attraggono reciprocamente, dal che è facile dedurre le prime due leggi di attrazione e di repulsione, ossia:

Prima Legge: *i poli magnetici analoghi si respingono a vicenda.*

Seconda Legge: *i poli magnetici opposti si attraggono a vicenda.*

La **figura 9** illustra la direzione del flusso nel caso di poli analoghi e di poli opposti adiacenti. Le linee non si incrociano tra loro in nessun punto e si comportano anzi in modo tale come se si respingessero a vicenda.

La **terza legge** dell'attrazione e della repulsione magnetica stabilisce in effetti che la forza di attrazione o di repulsione esistente tra due poli magnetici diminuisce rapidamente man mano che detti poli si allontanano tra loro. In realtà, *la forza di attrazione o di repulsione varia in maniera direttamente proporzionale al prodotto delle forze dei rispettivi poli ed inversamente proporzionale al quadrato della distanza tra di essi,* purchè detti poli siano abbastanza piccoli da poter essere considerati come dei punti.

Ad esempio, se la distanza tra due poli Nord viene aumentata da due a quattro centimetri, la forza di repulsione tra di essi diminuisce ad un quarto del valore originale. Se entrambe le intensità magnetiche vengono raddoppiate e la distanza rimane la medesima, la forza tra i poli viene raddoppiata.

CAMPO MAGNETICO INTORNO ai CONDUTTORI

Nel 1819 il fisico danese Hans Christian Oersted trovò che esiste una relazione definita tra il magnetismo e l'elettricità, e scoprì che una corrente elettrica è accompagnata da fenomeni magnetici i quali obbediscono a leggi definite.

Se si pone la bussola in prossimità di un conduttore percorso da corrente, l'ago si dispone ad angolo retto rispetto al conduttore, denunciando così la presenza di una forza magnetica. Tale presenza può essere constatata facendo passare una corrente elettrica attraverso un conduttore posto verticalmente e attraversante un pezzo di cartone orizzontale come è **illustrato alla figura 10.** L'intensità e la direzione della forza vengono determinate ponendo una bussola nei vari punti del pezzo di cartone, ed osservando la deflessione dell'indice. Si suppone che la direzione della forza sia corrispondente alla direzione del polo Nord dell'ago; le deflessioni dimostrano l'esistenza di un campo magnetico circolare intorno al conduttore. Quando la corrente scorre verso l'alto, la direzione del campo è in senso orario (osservando dall'alto) ma se si inverte la polarità della tensione in modo che la corrente scorra verso il basso, la direzione del campo è in senso antiorario.

La relazione tra la direzione delle linee magnetiche di forza intorno ad un conduttore e quella del passaggio di corrente attraverso quest'ultimo può essere determinata mediante una regola così detta *regola della mano sinistra per un conduttore.* Avvolgendo le dita della mano sinistra attorno al conduttore in modo che il pollice sia rivolto nella direzione del flusso della corrente (dal — verso il +) le altre dita risulteranno volte ad indicare la direzione delle linee di forza (vedi **figura 11-A**).

E' opportuno notare che dette linee circondano il cavo, ma non vi penetrano nè se ne allontanano in alcun punto, e che lungo il conduttore stesso non esistono poli magnetici.

Se il conduttore è avvolto in modo da formare una bobina, la corrente che lo percorre crea un notevole

B

I POLI ANALOGHI SI RESPINGONO

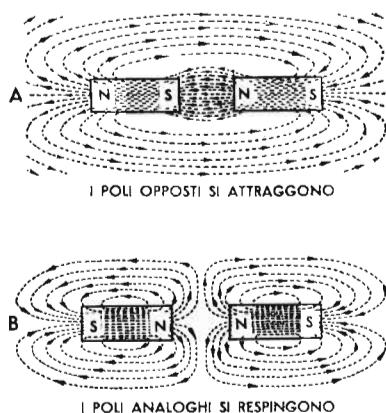



Fig. 9 - Direzione delle linee di forza di magneti adiacenti con **polarità opposta** (A) e con polarità analoga (B). Nel primo caso i due circuiti magnetici si integrano.

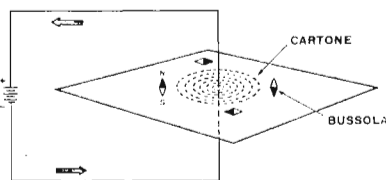
CARTONE

BUSSOLA

Fig. 10 - Mediante l'uso di una bussola è possibile constatare l'esistenza, e determinare la direzione, del campo magnetico creato da un conduttore percorso da corrente.

Fig. 11A - Determinazione della direzione delle linee di forza di un conduttore mediante la regola della mano sinistra.

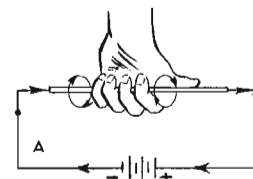
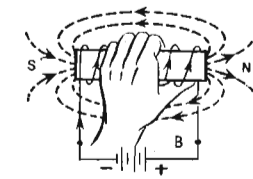



Fig. 11B - Determinazione della direzione delle linee di forza di un elettromagnete.

campo magnetico all'interno di quest'ultima. Inoltre se viene messo all'interno della bobina un corpo magnetico, come ad esempio l'acciaio, il campo magnetico stesso diventa ancora più intenso.

Un conduttore avvolto a spire, come sappiamo, prende il nome di **bobina, solenoide,** o **induttore.**

Le linee magnetiche del flusso circondano ogni singola spira dell'avvolgimento, esattamente come abbiamo visto si verifica nei riguardi di un conduttore diritto. Le linee di flusso circolari si uniscono al centro dell'induttore e producono l'intenso campo di cui si è detto (**figura 11-B**).

Nello spazio interposto in ogni coppia di spire adiacenti, esse hanno la medesima intensità ma opposte direzioni, per cui tendono ad annullarsi a vicenda, e poche linee, se non nessuna, escono dalla bobina tra le spire.

Come è illustrato dalla figura, le linee di forza della bobina passano attraverso il centro dell'indotto, escono da una estremità, e, attraverso un percorso esterno, raggiungono l'altra estremità.

Dette linee mostrano l'evidente formazione di due poli alle estremità, di cui un polo Nord nel punto in cui emergono, ed un polo Sud nel punto in cui entrano. La rispettiva polarità — nonchè la direzione delle linee — vengono determinate dalla direzione delle correnti e dal senso di avvolgimento del conduttore. Un metodo per determinare la polarità di un **solenoide** è il seguente: impugnare la bobina con la mano sinistra, in maniera che le dita si estendano nel senso del passaggio della corrente in ogni spira, in tal modo il pollice esteso indicherà la direzione del polo Nord.

Le leggi di attrazione e di repulsione dei poli di un solenoide sono identiche a quelle esistenti tra i poli dei magneti, o calamite.

EFFETTO del NUMERO delle SPIRE e della CORRENTE

L'intensità del campo (ossia l'ammontare del flusso che si addensa al centro di una bobina) nel caso illustrato alla **figura 12**, può essere aumentata, aumentando il numero delle spire della bobina, o aumentando la corrente che la percorre, o, infine, aumentando entrambi.

Detto flusso può anche essere aumentato usando come nucleo un materiale che permetta il passaggio del flusso stesso con maggiore facilità; l'effetto del nucleo ferromagnetico sulla intensità del campo verrà considerato in seguito.

Nel caso di una bobina con nucleo in aria il flusso è direttamente proporzionale alla corrente che la percorre ed al numero delle spire, ed il prodotto della corrente in ampère e di detto numero, è il cosiddetto **fattore ampère-spire** della bobina stessa. Supponiamo, ad esempio, che 1000 ampère-spire producano nell'aria l'intensità magnetica desiderata: tra le tante possibilità per raggiungere detto valore, saranno sufficienti ad esempio 50 spire percorse da una corrente di 20 ampère, oppure 500 spire percorse da 2 ampère, o ancora 1000 spire percorse da 1 ampère, e così via.

SCHERMAGGIO MAGNETICO

Non esistono isolanti veri e propri per il flusso magnetico. Se un materiale non magnetico viene immerso in un campo magnetico, il flusso non subisce variazioni apprezzabili, esso penetra cioè nel materiale stesso. Ad esempio, se inseriamo una lastra di vetro tra i poli di una calamita a ferro di cavallo, il campo magnetico non subisce alcuna variazione sebbene dal punto di vista elettrico il vetro sia un buon isolante. Se invece, si immerge nel campo un materiale magnetico, (come ad esempio, il ferro dolce), il flusso varia la sua direzione avvantaggiandosi della maggiore permeabilità del materiale inserito, come è illustrato nella **figura 13.** Con ogni probabilità in tal caso il flusso subirà sempre un incremento, mai, certamente, una diminuzione.

I dispositivi sensibili degli apparecchi elettrici e degli strumenti di misura che adottano per il loro funzionamento conduttori, bobine ecc. percorse dalla corrente, possono essere influenzati da campi magnetici estranei i quali possono causare perciò letture errate. Dal momento che non è possibile effettuare un isolamento protettivo, è necessario ricorrere a dei ripieghi per deviare i flussi esterni: si colloca ad esempio, attorno allo strumento, un involucro di ferro dolce, detto *schermo magnetico*. Poichè il flusso si espande nel ferro con maggiore rapidità ed intensità che non nell'aria contenuta all'interno di detto involucro, lo strumento può essere considerato come isolato dal flusso esterno: questo fenomeno è illustrato alla **figura 14** nella quale viene rappresentato un orologio racchiuso in uno schermo di ferro dolce e l'andamento di un flusso magnetico esterno.

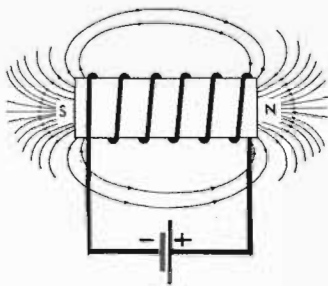



Fig. 12 - Aumentando il numero di spire di una bobina percorsa da corrente, aumentando la corrente, o introducendo un nucleo magnetico all'interno, si aumenta l'intensità del campo da essa prodotto.

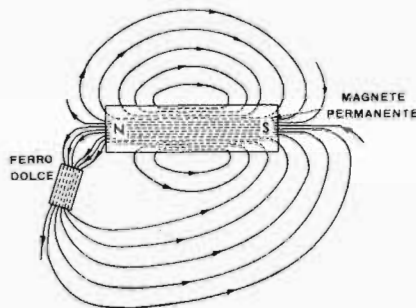



Fig. 13 - La presenza di un corpo di materiale magnetico (ferro dolce) in un campo magnetico, determina una deviazione delle linee di forza.

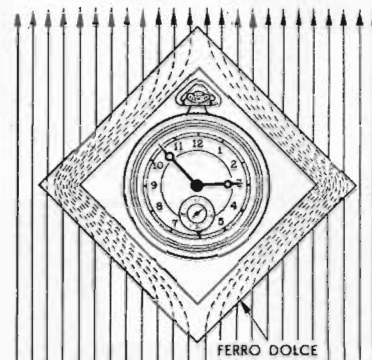



Fig. 14 - Per proteggere un oggetto dai campi magnetici si può racchiuderlo in un involucro di materiale magnetico, che assorbe e devia le linee di forza.

ANALOGIA con la LEGGE di OHM

La legge che governa la determinazione del flusso nei circuiti magnetici è analoga a quella, a noi nota, che governa il passaggio della corrente nei circuiti elettrici.

Il **flusso magnetico,** Φ, è paragonabile alla corrente nella legge di Ohm, e consiste nella quantità delle linee di forza del flusso presente nel circuito magnetico. **Il maxwell è l'unità di misura del flusso,** nel senso che una linea di forza equivale ad 1 maxwell: tuttavia, spesso tale unità viene definita come una linea di forza, o una linea induttiva, o, più semplicemente, una linea.

La forza magnetomotrice, *F* o *f.m.m.*, paragonabile alla forza elettromotrice nella legge di Ohm, è la forza che determina la presenza delle linee di flusso. La sua unità di misura è l'ampère-spira.

La **riluttanza** *R*, paragonabile alla resistenza nella legge di Ohm, *è l'opposizione offerta al flusso da parte del circuito magnetico.* L'unità di misura della riluttanza non è ancora stata espressa ufficialmente; tuttavia è stato proposto il **rel** (rappresentato dalla lettera *R*), *indicante la riluttanza offerta da un centimetro cubo d'aria.*

La riluttanza di una sostanza magnetica varia in proporzione diretta con la lunghezza del circuito magnetico, ed inversa nei confronti della sezione trasversale e della permeabilità μ della sostanza stessa, il che viene espresso dalla formula

$$R = \frac{l}{\mu A}$$

nella quale l è la lunghezza in centimetri, ed A l'area della sezione in centimetri quadrati (cm^2).

Un'altra unità della forza magnetomotrice spesso usata è il **gilbert,** rappresentato dalla lettera *F*. *Il gilbert è la forza necessaria per determinare 1 maxwell in un circuito magnetico avente una unità di riluttanza, ossia 1 rel.* La forza magnetomotrice in gilbert può essere espressa in funzione del fattore ampère-spira, come segue

$$F = 1{,}257\ IN$$

nella quale F è in gilbert, I in ampère, ed N è il numero di spire avvolte intorno al circuito magnetico.

L'unità di intensità della forza magnetizzante per unità di lunghezza è espressa mediante la lettera *H*, ed a volte viene intesa in gilbert per centimetro, il che può essere espresso dalla formula

$$H = \frac{1{,}257\ IN}{l}$$

nella quale l è la lunghezza in centimetri.

La **permeabilità** viene rappresentata dalla lettera greca μ (Mu), e di essa ci occuperemo più dettagliatamente in seguito; tuttavia, è opportuno darne già una definizione allo scopo di facilitare al lettore il compito di comprendere meglio la legge che segue (legge di Rowland) e le sue applicazioni pratiche.

La permeabilità è dunque la misura dell'attitudine da parte di una sostanza a condurre, ossia ad ospitare, *le linee di forza,* in riferimento all'attitudine a far ciò presentata dall'aria. La permeabilità dell'aria è perciò considerata pari ad 1.

La permeabilità viene espressa come il rapporto tra la densità di flusso in linee per cm^2 (gauss, ossia *B*) e l'intensità della forza magnetizzante in gilbert per centimetro di lunghezza, indicata da *H*. Ciò è espresso dalla formula

$$\mu = \frac{B}{H}$$

Secondo la legge di Ohm, la corrente è direttamente proporzionale alla tensione applicata ed inversamente proporzionale alla resistenza offerta dal circuito. Ciò, come è noto, è espresso dalla formula

$$I = \frac{E}{R}$$

La **legge di Rowland** per i circuiti magnetici stabilisce analogamente che *il numero delle linee di flusso magnetico, in maxwell,* Φ, *è direttamente proporzionale alla forza magnetomotrice, in gilbert (F) ed inversamente proporzionale alla riluttanza, R, offerta dal circuito.*

Esprimendo quanto sopra con formula si ha:

$$\Phi = \frac{F}{R}$$

L'analogia tra la legge di Ohm e la legge di Rowland è evidente.

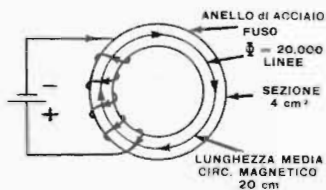



Fig. 15 - **Determinazione (vedi testo) degli ampère-spire necessari per produrre un flusso di 20.000 linee di forza in un circuito magnetico dalle caratteristiche riportate.**

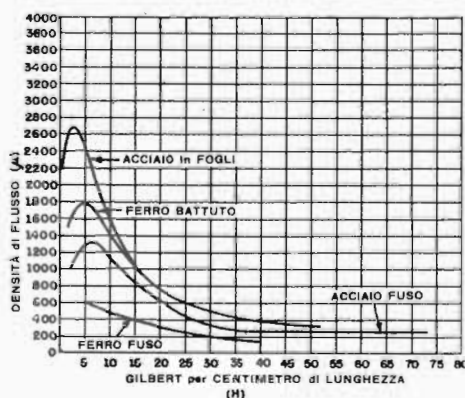



Fig. 16 - **Curve di permeabilità di diversi materiali magnetici.**

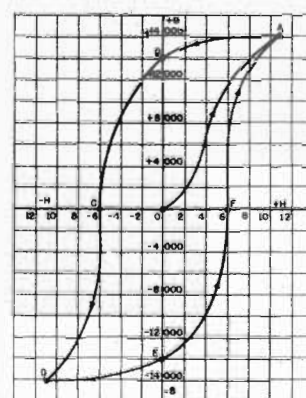



Fig. 17 - **Esempio di « ciclo di isteresi » di un materiale magnetico.**

Un altro termine usato per i circuiti magnetici è la **permeanza**. Viene indicata dalla lettera P, ed è l'inverso della riluttanza, ossia

$$P = \frac{1}{R}$$

Una tabella, nella lezione di appendice del presente fascicolo (lezione 15ª) dà i valori di B, di H e di μ per le più comuni sostanze magnetiche.

La permeanza è paragonabile alla conduttanza nei circuiti elettrici, ed è definita come *la caratteristica dei circuiti magnetici che permette alle linee di forza di percorrerli.*

Nella lezione di appendice è riportata una tabella di confronto delle unità, dei simboli e delle equazioni impiegate nell'applicazione della legge di Ohm ai circuiti elettrici, e della legge di Rowland ai circuiti magnetici.

Diamo ora un esempio pratico di quest'ultima. Supponiamo che si debbano calcolare gli ampère-spire necessari per produrre 20.000 linee di forza in un anello di acciaio fuso avente una sezione trasversale di 4 centimetri quadrati, ed una lunghezza media di 20 centimetri. Vedi **figura 15.**

La densità di flusso B viene calcolata mediante la formula

$$B = \frac{\Phi}{A} = \frac{20.000}{4} = 5.000 \text{ linee/cm}^2$$

e, dall'apposita tabella, ricaviamo che il valore di H per l'acciaio fuso è pari a 3,9. La formula che permette di calcolare H è, come abbiamo visto

$$H = \frac{1{,}257\ IN}{l}$$

dalla quale si ricava

$$IN = \frac{Hl}{1{,}257}$$

sostituendo ad H il valore 3,9 e ad l il numero 20, si ha

$$IN = \frac{3{,}9 \times 20}{1{,}257} = 62 \text{ ampère/spire}$$

PROPRIETA' dei MATERIALI MAGNETICI

Se al posto dell'acciaio fuso si usano delle lamine di acciaio ricotto, si ottiene una magnetizzazione più intensa in quanto la permeabilità è maggiore grazie alla maggiore facilità di propagazione delle linee di forza.

Il rapporto tra il flusso prodotto da una bobina su un nucleo di ferro (o altra sostanza) e quello prodotto dalla medesima bobina — mantenendo costante la corrente — quando il nucleo è solo aria, costituisce la **permeabilità** del ferro o di quella sostanza. Essa è dunque la misura della attitudine da parte di una sostanza a condurre le linee di forza magnetica, ossia è la misura della conduttività magnetica di quella sostanza.

Si è detto che la permeabilità dell'aria è 1; si può affermare che tale è anche il valore di permeabilità delle sostanze non magnetiche, come ad esempio il legno, l'alluminio, il rame, l'ottone, ecc.

La permeabilità dei materiali magnetici varia col variare del grado di magnetizzazione, ed è minima per alti valori di intensità di flusso, (vedi tabelle nella già citata lezione d'appendice e **figura 16**).

L'ISTERESI

Per ben comprendere il concetto di **isteresi** si osservi la **figura 17**, che rappresenta appunto un ciclo o comportamento di isteresi relativo ad un materiale qualsiasi. In essa la forza magnetizzante è indicata il gilbert per cm di lunghezza lungo le direzioni positiva e negativa dell'asse H, mentre la densità di flusso è rappresentata in gauss lungo le direzioni positiva e negativa dell'asse B.

L'intensità H della forza magnetizzante — applicata mediante una bobina percorsa da corrente intorno al materiale in esame — viene variata uniformemente durante un ciclo di funzionamento dopo essere partita da zero: in altre parole, la forza magnetizzante viene aumentata in senso positivo (per una data direzione di flusso della corrente nella bobina), fino ad un massimo di 11 gilbert/cm. Durante tale tempo, la densità di flusso, B, sale da zero a 14.000 nel punto A.

Se H viene fatta ritornare progressivamente a zero, la curva della densità di flusso non ritorna al medesimo valore seguendo cioè in discesa il medesimo percorso segnato per la salita, bensì raggiunge il punto B corrispondente alla densità di 13.000. Il flusso magnetico

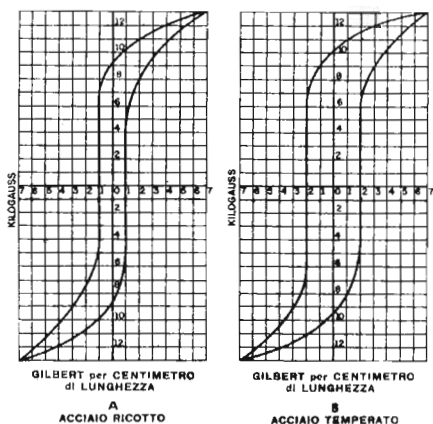



Fig. 18 - Confronto tra le curve di isteresi dell'acciaio ricotto e dell'acciaio temperato.

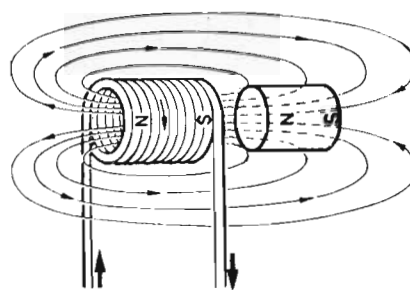



Fig. 19 - Un corpo di materiale magnetico si magnetizza, per le linee di forza di un campo adiacente, con polarità opposta a quella del campo stesso, per cui viene attratto.

indicato dalla lunghezza della linea *OB* rappresenta l'inerzia della sostanza magnetica.

Tale retenzione o coercibilità è dovuta all'attitudine del materiale stesso a conservare una certa magnetizzazione una volta cessata la causa che l'ha prodotta; è massima nell'acciaio temperato e minima nel ferro dolce.

Il valore del magnetismo residuo quando *H* è stata ridotta a zero, dipende dalla sostanza in questione e dalla densità di flusso raggiunta. Nel nostro caso, il magnetismo residuo ammonta a 13.000 gauss.

Se ora facciamo passare attraverso la bobina una corrente in senso opposto a quello prima adottato, in modo tale cioè che l'intensità della forza magnetizzante raggiunga il valore di - *H*, si vedrà che detta forza deve raggiungere il valore corrispondente al punto *C* prima che il magnetismo residuo si riduca a zero. La quantità di forza magnetizzante necessaria per ridurre a zero il magnetismo residuo, individuata dal tratto *OC* della curva, costituisce la **forza coercitiva**. Nel nostro caso, essa ammonta a 6 gilbert per cm.

Se in seguito, tale forza viene aumentata a - 11 gilbert per cm, la curva scende da *C* a *D*, magnetizzando il materiale con polarità opposta alla precedente. Se la forza magnetizzante viene poi riportata nuovamente a zero, la densità di flusso raggiunge il punto *E*. Il flusso magnetico rappresentato dal tratto *OE* indica ancora l'inerzia del materiale così come era indicato dal tratto *OB*; il magnetismo residuo ammonta nuovamente a 13.000 gauss.

Il ciclo si ripete se la corrente viene nuovamente invertita, per cui la magnetizzazione segue nel suo ciclo quella della corrente che la produce, ma — come risulta dall'analisi testè compiuta — con un certo ritardo causato dall'attrito tra le molecole.

Se l'inversione della magnetizzazione è lenta, la perdita di energia può essere trascurabile, mentre se essa avviene rapidamente, (caso della corrente che inverte rapidamente la sua polarità, detta corrente alternata), può verificarsi la perdita di una considerevole quantità di energia, specie nel caso dell'acciaio temperato. Un altro fattore che determina le perdite per isteresi è la densità massima di flusso che viene stabilita nel materiale magnetico in questione.

La **figura 18** illustra un confronto tra le curve di isteresi dell'acciaio ricotto e dell'acciaio temperato. L'area compresa da ognuna di esse costituisce la misura di energia dispersa per ogni ciclo di operazione, dal che si nota che nell'acciaio temperato l'attrito tra le molecole costituisce una perdita maggiore. E' quindi importante che nei trasformatori e negli altri dispositivi analoghi si usi un materiale con basse perdite per isteresi.

ELETTROMAGNETI

Per elettromagnete si intende un nucleo di ferro dolce intorno al quale è avvolta una bobina: quando quest'ultima viene percorsa da corrente continua, come abbiamo già visto, il nucleo si magnetizza con la medesima polarità che avrebbe il campo magnetico in assenza del nucleo, e, se la corrente inverte la sua direzione, si inverte anche il campo magnetico. L'aggiunta del nucleo all'interno di una bobina compie due funzioni: innanzitutto il flusso diventa più intenso grazie alla maggiore permeabilità rispetto a quella dell'aria, ed in secondo luogo detto flusso è enormemente concentrato.

Il flusso che si sviluppa internamente alla bobina esercita la sua influenza sulle molecole del nucleo e quindi sui « dominï », a noi ormai noti, costringendoli ad allinearsi. Tale fenomeno si verifica in egual maniera se il nucleo viene avvicinato al campo di un altro magnete invece di essere influenzato da una bobina.

Nel caso del ferro dolce, non appena la corrente magnetizzante cessa, la maggior parte dei magneti atomici torna a disporsi con un orientamento miscellaneo, per cui si smagnetizza, mentre, nel caso dell'acciaio temperato, la maggior parte di essi conserva l'orientamento acquisito in seguito alla magnetizzazione, e per questo fatto il materiale diventa un magnete permanente. Negli elettromagneti si usa o il ferro dolce o altri materiali aventi un'alta permeabilità ed una bassa inerzia. Si è constatato sperimentalmente che un pezzo di ferro dolce viene attratto con egual forza da entrambi i poli di una calamita, e che — analogamente — tale attrazione viene esercitata anche da parte di una bobina percorsa da corrente, se entrambi sono orientati come illustrato dalla **figura 19.** Come si nota da tale figura, le linee di forza si estendono nel ferro dolce e lo magnetizzano per induzione, e, dal momento che i poli opposti si attraggono, il nucleo viene attirato all'interno della bobina: ne consegue che, se detto nucleo è libero di muoversi, esso tende a portarsi al centro della bobina stessa.

SISTEMI di PRODUZIONE della CORRENTE

Alla lezione 8ª abbiamo esposto dettagliatamente il sistema di produzione della corrente elettrica che si basa sull'effetto chimico: abbiamo visto fenomeni, norme e tecnica riguardanti le pile e gli accumulatori e si è rilevato come, nel campo elettronico, a questo sistema si ricorra tuttora assai spesso e anzi, si stia verificando verso di esso, — in seguito alla comparsa dei transistori — un certo aumento di interesse.

Sull'argomento degli accumulatori diamo, come abbiamo promesso, ancora qualche cenno circa i diversi tipi di carica. Successivamente — in questa lezione — prenderemo in esame gli altri sistemi di produzione dell'elettricità, quelli cioè basati su effetti diversi dall'effetto chimico.

TIPI di CARICA delle BATTERIE

A seconda delle sue condizioni, una batteria può essere caricata con uno dei seguenti tipi di carica: (1) iniziale, (2) normale, (3) di equalizzazione, (4) intermittente e (5) di emergenza.

Carica iniziale. Le piastre di una batteria che sia stata fornita priva di elettrolita sono in condizioni di scarica completa, e, dopo l'aggiunta del liquido, è necessario portarle nelle condizioni di carica, il che è ottenuto dando loro una carica iniziale lunga ed a bassa portata. Tale carica viene data in conformità alle istruzioni fornite dal fabbricante che, generalmente, accompagnano la batteria.

Carica normale. Essa consiste nell'abituale procedimento di carica, durante il ciclo normale di funzionamento, allo scopo di ripristinare le condizioni. Procedura:

1 - determinare la portata di inizio e di fine dai dati generali, e, in mancanza di questi riferirsi ad apposite tabelle.

2 - Se necessario, aggiungere acqua ad ogni cellula.

3 - Collegare la batteria al pannello di ricarica; assicurarsi della giusta polarità, controllare che i collegamenti siano puliti e ben stretti.

4 - Inserire il circuito di ricarica e regolare la corrente al valore appropriato di *inizio* carica.

5 - Controllare temperatura e peso specifico ogni ora.

6 - Non appena c'è ebollizione apprezzabile, ridurre la corrente di carica al valore *finale*.

La carica normale si intende completa quando il peso specifico, opportunamente corretto in base alla temperatura, ha uno scarto massimo di 5 punti (0,005) da quello ottenuto con la precedente carica di equalizzazione.

Carica di equalizzazione. Consiste in una estensione della carica normale alla portata di fine carica, e viene effettuata periodicamente per assicurare che tutto il solfato di piombo venga asportato dalle piastre, e che il peso specifico venga portato al suo massimo valore in tutte le cellule. Tale carica viene protratta finchè il peso specifico dell'elettrolita di ogni cellula, opportunamente corretto nella lettura in base alla temperatura, non subisce variazioni per un periodo di 4 ore: il controllo viene effettuato ogni 30 minuti.

Carica intermittente. E' possibile conservare una batteria nello stato di carica completa collegandola ai capi di una fonte di energia la cui tensione sia mantenuta entro i limiti variabili da 2,13 a 2,17 volt per ogni cellula; il rapporto di carica viene determinato in base alla tensione della batteria anzichè ad un certo valore di corrente. La tensione viene mantenuta ad un valore il più possibile prossimo a 2,15 volt per cellula.

Questa è la sistemazione nota anche col nome di « batteria tampone ».

Carica di emergenza. Viene adottata quando è necessario ricaricare la batteria nel minor tempo possibile, e viene effettuata ad una portata molto più alta di quella normale. E' di impiego piuttosto raro perchè dannosa per la durata della batteria stessa.

ELETTRICITA' per EFFETTO MAGNETO-MECCANICO

La dinamo

Poichè al pari del sistema chimico, quello magneto-meccanico riveste grande importanza, ci dilungheremo maggiormente nei suoi riguardi. Gli altri sistemi risultano attualmente di minore e meno pratico sfruttamento: ad ogni modo, allorchè li incontreremo applicati nella elettronica, avremo modo di analizzarli meglio, con maggiore e particolare riguardo al caso specifico nei suoi dati e nei suoi fenomeni.

I circuiti elettrici che richiedono per il loro funzionamento una quantità di energia maggiore di quella che può essere fornita dalle normali batterie, vengono alimentati mediante energia ricavata da macchine elettriche rotanti dette « generatori ». Così avviene infatti per gli impianti di illuminazione, per i motori di notevole potenza, per le stufe elettriche ecc. che richiedono —

Fig. 1 - Principio fondamentale del generatore di corrente continua. La corrente viene prodotta a causa della rotazione di una spira del conduttore in un campo magnetico, e prelevata mediante due spazzole in contatto alternativo con i due capi della spira.

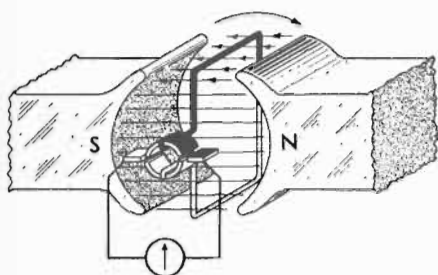
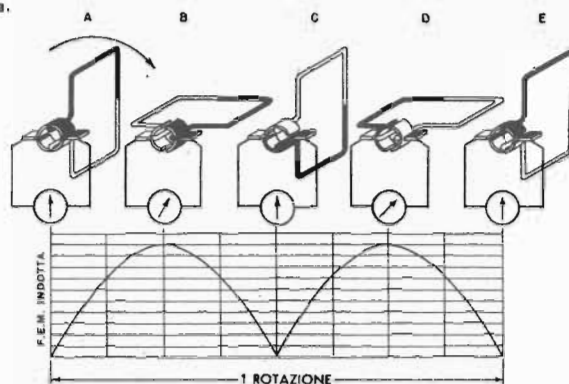



Fig. 2 - Andamento della tensione prodotta dal generatore. Ogni ondulazione corrisponde alla rotazione di 180° della spira.

come è noto — una quantità di energia di gran lunga superiore a quella ottenibile mediante l'uso di batterie di produzione commerciale.

Le citate macchine rotanti o generatori, possono fornire quantità di energia che vanno da modesti limiti a diverse migliaia di chilowatt di potenza.

Un generatore di corrente è in effetti una macchina rotante che converte l'energia meccanica in energia elettrica. Tale conversione viene ottenuta mediante la rotazione di una armatura munita di conduttori in un campo magnetico che induce una f.e.m. nei conduttori dell'armatura stessa: affinchè ciò sia possibile è indispensabile un movimento del conduttore rispetto al campo magnetico o viceversa; in seguito a tale movimento il conduttore taglia le linee di forza del campo magnetico stesso.

Nella maggior parte dei generatori di corrente l'armatura costituisce la parte rotante detta **rotore**, mentre la sorgente del campo magnetico costituisce la parte stabile o fissa, detta **statore**. L'albero — o asse del rotore — è soggetto ad una forza esterna che ne determina la rotazione, e, non appena la rotazione ha inizio, l'energia motrice determina una differenza di potenziale ai capi dell'avvolgimento presente nel rotore, ossia una tensione utilizzabile per alimentare un circuito esterno.

L'energia meccanica deve essere applicata costantemente all'albero del generatore finchè si desidera che quest'ultimo eroghi una determinata quantità di energia.

La potenza necessaria alla rotazione del rotore viene prelevata da una sorgente detta primaria, la quale può essere costituita da una turbina, da un motore a nafta o Diesel, oppure a benzina, o da una macchina a vapore, e — nei mezzi di locomozione semoventi — può essere prelevata mediante ingranaggi dal motore del moto, come avviene nel caso dell'automobile, della nave, o dell'aeroplano.

La produzione della f.e.m. ha luogo, come si è detto, dal movimento relativo del conduttore rispetto al campo magnetico: la quantità dell'energia indotta dipende da tre fattori:

1) intensità del campo magnetico.
2) lunghezza del conduttore, ossia il numero delle spire ed il diametro del conduttore allorchè esso è avvolto sotto forma di bobina.
3) velocità con la quale detto conduttore taglia il campo magnetico, ossia la velocità con cui il rotore ruota nel campo.

Tutte le caratteristiche costruttive nel progetto di un generatore devono essere tali da bilanciare le relazioni che intercorrono tra questi tre fattori.

GENERATORI di C.C.

Pincipio di funzionamento

La **figura 1** illustra il principio di funzionamento di un generatore di c. c. Una spira di filo conduttore viene fatta ruotare nel campo magnetico costituito dalle due espansioni polari contrassegnate S ed N (ossia Sud e Nord), nel senso indicato dalla freccia. La parte della spira segnata in neretto è collegata al segmento semicilindrico nero, mentre la parte segnata a tratto doppio è collegata al segmento semicilindrico bianco. Tali segmenti sono isolati tra loro; essi costituiscono un commutatore che reca su due lati opposti due spazzole di contatto fisse, ognuna delle quali viene a trovarsi successivamente in contatto con i segmenti semicircolari, man mano che la spira ruota intorno al proprio asse.

La parte rotante del generatore di c.c. si chiama **armatura**, e la produzione di c.c. avviene nel modo seguente:

1) nella posizione A della **figura 2**, la spira ruota in senso orario, e nessuna linea di forza viene da essa tagliata, per cui non si ha alcuna f.e.m. indotta.
   Si noti che entrambi i segmenti semicilindrici stanno iniziando il contatto con le spazzole del rispettivo colore, ma restano tuttavia, in tale momento, anche in contatto con il segmento di colore opposto.
2) nella posizione B le linee di flusso vengono tagliate perpendicolarmente, per cui la f.e.m indotta raggiunge l'ampiezza massima. Entrambe le spazzole sono in contatto con i segmenti aventi rispettivamente il medesimo colore; l'indice dello strumento che denota il passaggio di corrente si sposta verso destra indicando la polarità della tensione di uscita.
3) nella posizione C, la spira ha completata una rotazione di 180°. In questa posizione la spira non taglia alcuna linea di forza: la f.e.m. indotta è nulla.

E' importante notare, nella posizione C, il comportamento reciproco delle spazzole e dei segmenti, in quanto, con una rotazione di 180°, la spazzola si trova nuovamente tra il segmento bianco e quello nero — a contatto

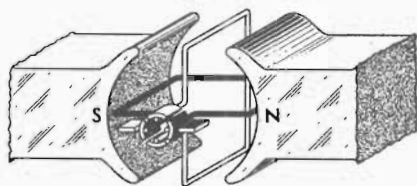



Fig. 3 - Installando due spire tra loro perpendicolari in luogo di una sola, si determinano per ogni rotazione completa quattro impulsi di corrente.

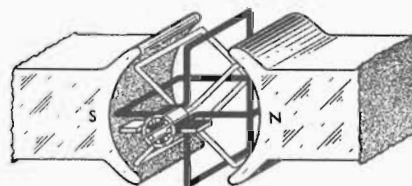
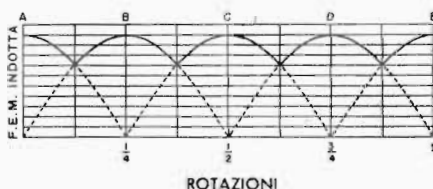
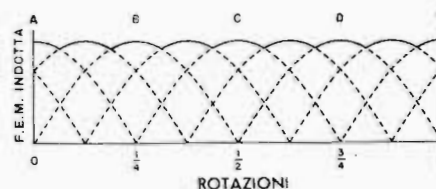



Fig. 4 - Aumentando ulteriormente il numero delle spire distribuite su vari piani passanti per l'asse, la tensione prodotta, e quindi la corrente, tende a diventare pressochè continua, ossia a perdere la forma di ondulazioni.

cioè con entrambi — esattamente come la spazzola bianca posta sul lato diametralmente opposto; non appena il rotore ha superato leggermente i 180° di rotazione, la spazzola nera resta a contatto col semicilindro bianco, e quella bianca solo col semicilindro nero.

Grazie all'azione di commutazione determinata dallo spostamento relativo dei segmenti rispetto alle spazzole, quella nera è sempre in contatto con la parte della spira rotante che si muove dall'alto verso il basso, mentre la spazzola bianca è sempre in contatto diretto con la parte che si muove dal basso verso l'alto. Sebbene, in effetti, la corrente inverta la sua direzione nella spira, l'effetto del commutatore rotante fa in modo che la corrente scorra nel circuito esterno — ossia in questo caso, nello strumento — sempre nella medesima direzione.

Il grafico riportato alla figura 2 illustra l'andamento della tensione erogata dal generatore durante una rotazione completa. Ricapitolando, la corrente che scorre nel conduttore che costituisce il rotore inverte la sua direzione ogni 180° di rotazione, ma l'azione combinata del commutatore rotante e delle spazzole fa in modo che la corrente esterna abbia una direzione ossia polarità, costante.

Nell'istante in cui ognuna delle spazzole è in contatto con entrambi i segmenti del commutatore (posizioni A, C ed E nella figura 2) si produce un cortocircuito tra i due segmenti. Se, in quell'istante si verificasse una f.e.m. indotta, si avrebbe nell'avvolgimento il passaggio di una notevole corrente che potrebbe danneggiare il commutatore; per questo motivo le spazzole devono essere sistemate in posizioni tali che il contatto con entrambi i segmenti si verifichi soltanto negli istanti in cui la f.e.m. indotta è nulla, ossia nella posizione denominata « piano neutro ».

Ondulazioni

La tensione prodotta dal generatore tipico ora descritto varia in ampiezza tra 0 ed il suo valore massimo, due volte durante ogni rotazione completa del rotore (vedi figura 2). Queste variazioni di ampiezza della tensione costituiscono le cosiddette « ondulazioni »; esse possono essere ridotte mediante l'uso di un numero maggiore di spire rotanti — ossia di bobine — come è indicato nelle **figure 3** e **4.** Con l'aumentare del numero degli avvolgimenti del rotore, l'ammontare della variazione tra il valore minimo ed il valore massimo della tensione d'uscita diminuisce, e quest'ultima tende ad assumere le caratteristiche di una vera e propria corrente continua. Nelle figure 3 e 4 si nota che il numero dei segmenti di contatto che costituiscono il commutatore rotante aumenta con l'aumentare del numero degli avvolgimenti; in altre parole, i segmenti sono due per un avvolgimento, quattro per due avvolgimenti, sei per tre avvolgimenti, e così via.

Tensione d'uscita

La tensione indotta in un rotore costituito da un'unica spira è molto piccola; l'aumento del numero degli avvolgimenti di cui si è detto è utile per equalizzare l'andamento della tensione d'uscita ma non per aumentarne l'ampiezza. L'ampiezza può essere aumentata invece mediante l'uso di un numero maggiore di spire per ogni singolo avvolgimento. Entro ristretti limiti, la tensione d'uscita di un generatore di c.c. può essere calcolata mediante il prodotto del numero di spire di ogni avvolgimento, la densità di flusso che sussiste tra ogni paio di poli magnetici, e la velocità di rotazione dell'armatura.

A questo punto è necessario specificare che fino ad ora ci siamo riferiti esclusivamente ai generatori a due poli (un polo Sud ed un polo Nord), mentre — come vedremo in seguito — esistono dei generatori provvisti di un maggior numero di coppie di poli, il che contribuisce a spianare l'andamento della tensione d'uscita, esattamente come accade aumentando il numero degli avvolgimenti separati.

GENERATORI di C.C. in PRATICA

Come abbiamo ora visto, le parti essenziali di un generatore sono: *le espansioni polari, l'armatura rotante,* ed *il commutatore rotante* costituito dai *segmenti* (collettore) e dalle *spazzole.* I veri e propri generatori differiscono tuttavia dal tipo basilare descritto per i particolari che ora esponiamo.

Poli magnetici

I generatori di costruzione commerciale impiegano elettromagneti o elettrocalamite in luogo di magneti permanenti, allo scopo di produrre campi magnetici di maggiore intensità senza, peraltro, aumentare le dimensioni fisiche dello statore.

La **figura 5** illustra l'aspetto di due generatori rispet-

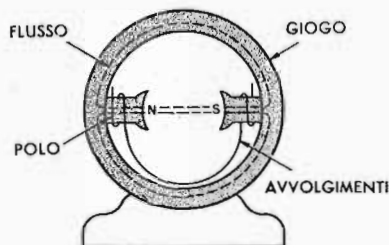



Fig. 5A - Disposizioni delle polarità e senso degli avvolgimenti nel « giogo » di un generatore a due poli. Il circuito magnetico si chiude attraverso il rotore non indicato in figura.

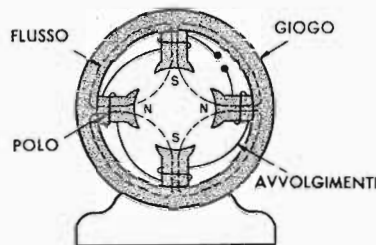



Fig. 5B - Disposizione delle polarità e senso degli avvolgimenti nel « giogo » in un generatore a quattro poli.

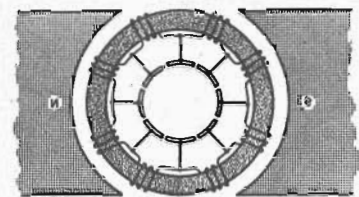



Fig. 6 - Armatura (parte rotante) del tipo ad anello di un generatore. Gli avvolgimenti sono a otto sezioni: ogni sezione fa capo ad un contatto (collettore) dal quale la corrente viene prelevata mediante una « spazzola ».

tivamente a 2 e a 4 poli, nei quali la parte esterna o *giogo* compie due funzioni: completa il circuito magnetico tra i poli, e funge da supporto meccanico per l'intero dispositivo. Nei generatori di piccole dimensioni il giogo è costituito da un unico corpo di ferro, mentre nei generatori di dimensioni notevoli consiste di due parti saldamente unite tra loro. Lo statore deve avere buone proprietà magnetiche perchè, con le espansioni polari, costituisce la maggior parte del circuito magnetico.

Le espansioni polari sono fissate all'interno dello statore: si tratta di nuclei sui quali sono avvolte le bobine di campo. Essi sono generalmente costituiti da lamierini sovrapposti onde ridurre le correnti parassite, e compiono la medesima funzione svolta dai **nuclei**, agli effetti della concentrazione magnetica delle elettrocalamite.

L'intero statore — ossia tanto la parte esterna quanto le espansioni polari — è in ferro di alte qualità magnetiche, oppure in acciaio laminato.

Le bobine di campo consistono di molte spire di filo isolato. Sono normalmente avvolte su appositi supporti la cui forma ne permette il successivo collocamento ed il rigido fissaggio sulle espansioni polari; la corrente di eccitazione che le percorre viene ricavata o da una sorgente esterna, o dalla stessa tensione prodotta dal generatore. Tra gli avvolgimenti delle bobine di campo e le espansioni polari non esiste alcun collegamento elettrico.

La maggior parte degli avvolgimenti di campo sono collegati in modo tale che i poli invertano la loro polarità: ad ogni polo Nord deve corrispondere sempre un polo Sud; di conseguenza, i poli di un generatore devono essere sempre in numero pari.

E' opportuno notare che le espansioni polari visibili nella figura 5 sporgono all'interno del giogo. Ciò riduce lo spazio esistente tra esse e l'armatura rotante, con la conseguenza di un aumento del rendimento in quanto l'aria offre una notevole riluttanza al campo magnetico. Allorchè le espansioni polari si protendono nel modo descritto, vengono denominate « poli salienti ».

Armatura.

Come abbiamo visto precedentemente, l'armatura è la parte rotante del generatore. Essa consiste di bobine avvolte su nuclei di ferro, di un commutatore, e di parti meccaniche associate. Il nucleo di ferro agisce da conduttore del campo magnetico, e, per questo motivo, è costituito da ferro laminato onde evitare le correnti parassite.

Esistono due tipi di armatura, e precisamente il tipo *ad anello* e il tipo *a tamburo*. La **figura 6** illustra un tipo di armatura ad anello costituita da un corpo in ferro, da un avvolgimento ad otto sezioni, e da un commutatore ad otto segmenti.

Nel tipo di armatura a tamburo gli avvolgimenti sono sistemati in fessure praticate nel nucleo, sebbene tra i primi ed il secondo non esista alcun collegamento elettrico (vedi **figura 7**). L'uso di tali fessure migliora la sicurezza meccanica dell'armatura. Normalmente, gli avvolgimenti vengono trattenuti nelle fessure mediante l'introduzione di strisce di materiale isolante (cartone o fibre speciali). I collegamenti con i vari avvolgimenti sono rappresentati dai fili uscenti o dai loro terminali, che sono quindi uniti ai rispettivi segmenti del collettore.

Collettore

La **figura 8** illustra la sezione trasversale di un collettore tipico. Esso viene sistemato ad una delle estremità del rotore (vedi figura 7) e consiste di segmenti di rame elettrolitico duro, isolati tra loro da sottili fogli di mica. Detti segmenti vengono tenuti saldamente al loro posto mediante anelli di acciaio sagomati oppure mediante flange. Anche tra i segmenti di rame e gli anelli o le flange esiste uno strato isolante di mica. La parte sollevata di ogni segmento prende il nome di *gradino*, al quale viene saldato uno dei terminali degli avvolgimenti del rotore. In mancanza di detto gradino il terminale viene saldato ad una prominenza presente ad una delle estremità del segmento stesso.

Le spazzole sono in diretto contatto con la superficie esterna del collettore e costituiscono così il mezzo di collegamento col circuito esterno. Esse vengono confezionate con una speciale qualità di carbone misto a polvere di rame e pressato; vengono mantenute nella posizione appropriata mediante speciali supporti isolati dalla massa metallica. Durante la rotazione la superficie del collettore scorre lungo il punto di contatto con le spazzole, ed esse, essendo libere di muoversi lungo il loro supporto, possono seguirne le eventuali irregolarità. Il contatto col circuito esterno viene realizzato con collegamenti flessibili di rame costituiti da diversi fili sottili intrecciati tra loro. Infine, le spazzole sono regolabili af-

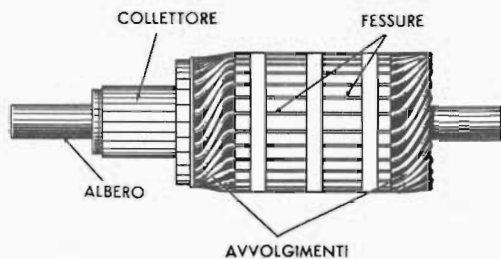
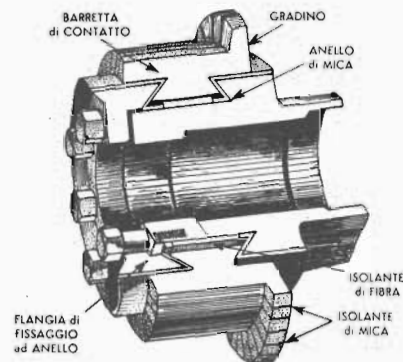



Fig. 7 - Armatura o rotore del tipo a tamburo. Gli avvolgimenti sono sistemati in fessure: anche qui i vari terminali delle sezioni fanno capo ad altrettanti segmenti tra loro isolati.

Fig. 8 - All'estremità del rotore è posto il « collettore » (vedi figura 7): eccone uno in sezione. Sono visibili le barrette di contatto in rame, i supporti isolanti, la flangia di fissaggio e la sede dell'albero principale. Per il suo funzionamento, il collettore viene anche chiamato commutatore.

finchè la pressione da esse esercitata sul collettore possa variare e affinchè possa essere scelta anche la loro posizione nei confronti dei segmenti che costituiscono il collettore.

Commutazione

Col ruotare dell'armatura di un generatore a c.c., negli avvolgimenti — allorchè gli stessi passano sotto le espansioni polari — si crea una tensione. Tale tensione può essere prelevata mediante le spazzole. Man mano che i segmenti cui fanno capo gli avvolgimenti vengono in contatto con le spazzole, si verificano due azioni simultanee: innanzitutto, viene prelevata la corrente di cui si è detto — che è la conseguenza della tensione indotta nelle bobine — e, in secondo luogo, le bobine che si trovano negli spazi interpolari vengono momentaneamente cortocircuitate, e i collegamenti alle bobine si invertono.

La continua apertura e chiusura del collegamento con la bobina nella quale viene indotta una tensione, rende necessario l'uso di spazzole aventi una minima resistenza di contatto. Inoltre, le spazzole devono essere formate da un materiale tale da rendere minimo l'attrito poichè, diversamente, il collettore verrebbe sottoposto ad un logorio eccessivo. Per questo motivo le spazzole sono costituite da un impasto non eccessivamente duro, tuttavia tale da assicurare una notevole durata. Dal momento che la resistenza di contatto del carbone (elemento predominante nella struttura delle spazzole) è piuttosto alta, la superficie di appoggio sul collettore deve essere molto ampia, e quella del collettore stesso deve essere il più levigata possibile. Si devono evitare in questo punto, nel modo più assoluto, sostanze lubrificanti, e nelle operazioni di pulitura è necessario prestare la massima attenzione onde evitare eventuali incrinazioni o incisioni nella superficie. In teoria non dovrebbe verificarsi scintillio durante il funzionamento, tuttavia, le correnti che scorrono nelle bobine del rotore determinano un proprio campo magnetico che si oppone a quello creato dagli avvolgimenti di campo. La presenza di questo campo opposto determina uno spostamento del piano neutro.

La **figura 9** illustra come si produce questo effetto denominato « reazione del rotore ».

La sezione **A** rappresenta le linee di flusso prodotte dai due poli negli istanti in cui non vi è passaggio di corrente negli avvolgimenti del rotore. La curvatura di dette linee si verifica a causa della presenza dell'armatura di ferro tra i poli, e costituisce una distorsione normale del campo magnetico in un generatore. La linea *ab* indica l'asse zero del campo.

La sezione **B** illustra le linee di flusso prodotte dalla corrente che scorre nei soli avvolgimenti del rotore; in altre parole, si suppone che le bobine di campo non siano eccitate, per cui tra le espansioni polari non si ha alcun campo magnetico.

La sezione **C**, per ultimo, illustra il campo risultante dalla presenza dei due flussi precedentemente descritti: il flusso *A* prodotto dai poli ed il flusso *B* prodotto dalla corrente che circola nel rotore. E' importante notare che l'asse zero del campo risultante è spostato come è indicato dalla linea *a'b'*. Tale spostamento determina la nuova posizione del piano neutro. Lo spostamento del campo principale fa in modo che le bobine del rotore, che stanno per essere cortocircuitate dalle spazzole, subiscano l'influenza di un ulteriore campo di intensità ridotta, che induce in esse una lieve tensione.

Tale bassa tensione viene cortocircuitata dalle spazzole; ciò determina la presenza di scintille che, a lungo andare, deteriorano il collettore. Con l'aumentare della corrente assorbita dal carico, detta reazione aumenta ed il fenomeno assume maggiori proporzioni.

Allo scopo di rimediare allo spostamento del piano neutro, si possono adottare vari espedienti:

1) l'intero complesso delle spazzole può essere ruotato in modo che esse siano allineate con la posizione assunta dal piano, e, dal momento che detto spostamento è proporzionale al carico, deduciamo che il complesso delle spazzole, secondo questa soluzione, deve poter essere regolato ogni volta che si apportano delle variazioni al carico applicato. Questo procedimento è perciò poco pratico per cui si preferisce ricorrere ad altri sistemi.

2) i poli possono essere leggermente smussati, ossia, la distanza radiale tra le superfici dei poli e l'armatura rotante può essere leggermente aumentata alle estremità dei poli stessi (**figura 10**). In questo caso, l'aumentata distanza tra le parti metalliche degli spigoli rimedia, in un certo senso, alla tendenza del campo a spostarsi **a** causa della reazione del rotore.

3) i poli di commutazione possono essere sistemati negli spazi interpolari. Questi poli sono più piccoli e più vicini che non quelli del campo principale, e l'avvolgimento presente su di essi è in serie all'armatura e

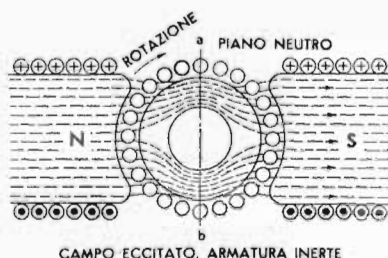



Fig. 9A - Le correnti che scorrono nelle bobine del rotore creano un campo magnetico che si oppone a quello generato dagli avvolgimenti di campo, e che sposta il piano neutro. Direzione delle linee di forza in assenza di corrente nel rotore.

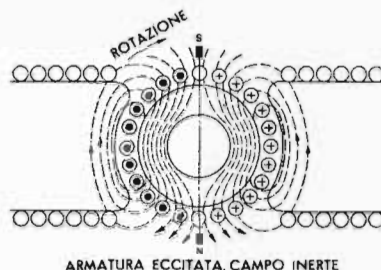



Fig. 9B - Linee di forza prodotte dalla corrente che circola nell'avvolgimento del rotore, supponendo che lo statore non sia magnetizzato.

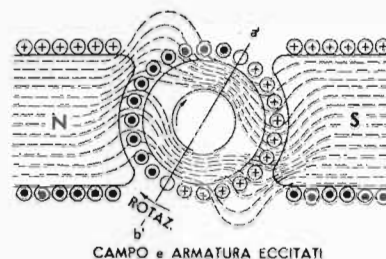



Fig. 9C - Campo magnetico risultante dalla sovrapposizione dei due campi (rotore e statore). Come si può osservare l'asse zero del campo risulta in tal caso inclinato, e ciò dà luogo a scintillio sul collettore.

collegato in modo tale che il campo magnetico da essi prodotto sia opposto al campo causato dalla reazione del rotore.

4) le superfici delle espansioni polari possono essere munite di fessure longitudinali nelle quali è possibile alloggiare gli avvolgimenti. Questi ultimi sono quindi collegati in modo tale che il campo da essi prodotto si opponga a quello prodotto dal rotore.

I generatori di c.c. possono essere classificati a seconda del metodo usato per fornire la corrente al campo di eccitazione. Quando tale corrente è ottenuta da una sorgente di energia separata, il generatore (dinamo) viene detto **ad eccitazione separata.** Normalmente detta sorgente separata è costituita da un piccolo generatore ausiliario detto «eccitatore».

Se invece la corrente di campo è prodotta dalla dinamo stessa si dice che essa è del tipo **ad auto eccitazione.** In questo caso esistono ulteriori classificazioni a seconda che la eccitazione avvenga in serie, in parallelo, o in serie-parallelo.

ELETTRICITA' per EFFETTO ELETTRO-STATICO

La ragione per la quale l'energia elettrica può essere prodotta mediante lo sfruttamento dei principi dell'elettrostatica può essere compresa risalendo alla struttura atomica della materia: già sappiamo — ed è facile constatarlo — che l'ebanite, il vetro e diverse altre sostanze analoghe, si elettrizzano in seguito ad un attrito con sostanze diverse, assumendo cariche elettriche opposte rispetto ad esse. Le indagini sperimentali hanno dimostrato ad esempio che, da parte della seta, vengono asportati elettroni da altri corpi, in seguito a sfregamento; così, un corpo di vetro resta privo di una parte di elettroni allorchè subisce un attrito con detto materiale. In questo caso il vetro assume un potenziale positivo; è quanto già abbiamo visto esaminando la voce «elettricità» a pag. 25.

Allorchè un corpo di vetro o di ebanite subisce un attrito contro un panno di lana o di seta, si elettrizza al punto tale da esercitare una forza di attrazione nei confronti della carta o di altri corpi analoghi (vedi pagina 29); alcune nuove sostanze plastiche (ad esempio: l'astralon) sviluppate in seguito ai recenti progressi nel ramo, denotano una particolare attitudine ad esercitare in simili condizioni questa forza di attrazione.

Ciò dimostra che l'attrito tra detti corpi, opportunamente scelti, se sfruttato ed applicato in maniera razionale, può tornare utile per la produzione di una forma di energia elettrica detta appunto «elettrostatica».

Nello sfruttamento pratico dell'elettricità statica come tale sono però assai poco usate le macchine che la producono in tal modo (per attrito) perchè esse riescono sì a fornire un potenziale molto elevato, ma con bassissima corrente; ciò significa, in ultima analisi, che l'energia disponibile è poca e non adatta agli impieghi correnti. Viene tuttavia spesso sfruttato l'effetto elettrostatico, ossia l'attrazione che il potenziale provoca, ai fini di un trasferimento di sostanze leggere da un punto ad un altro. Casi del genere si riscontrano nella verniciatura elettrostatica, nella raccolta di pulviscolo o fumo, nella stampa xerografica, ecc. ove l'azione è realizzata appunto applicando una tensione molto alta tra la parte interessata a ricevere la sostanza e la sostanza stessa o un elemento nel quale è raccolta, o dal quale proviene. L'alta tensione in gioco viene ottenuta, come si è accennato, con mezzi diversi dalla macchina generatrice per effetto elettrostatico, in quanto tali mezzi si rivelano più idonei e più pratici.

Accenneremo tuttavia, a scopo di informazione, alla esistenza di veri e propri generatori elettrostatici realizzati quasi sempre però per scopi illustrativi didattici (scuole, gabinetti di fisica, ecc.). Tali macchine, a mezzo di ingranaggi rapportatori o altre trasmissioni meccaniche (quasi sempre azionate a mano), mettono in rotazione un disco (o un nastro) costruito con uno dei materiali più idonei al fine della produzione di elettricità per sfregamento. L'attrito avviene durante la rotazione nei confronti di parti fisse realizzate con il materiale opposto. L'elettricità così ottenuta viene trasferita e raccolta, accumulandosi progressivamente in un condensatore sino a tanto che, per eccesso, ha luogo una scarica tra i due elettrodi (al limite di isolamento dell'aria che li separa). In tal modo è possibile ottenere tensioni dell'ordine dei 300.000 volt e oltre, con correnti da 8 a 10 μA (milionesimi di Ampère).

ELETTRICITA' per EFFETTO TERMO-ELETTRICO

La termocoppia

Quando due metalli differenti vengono uniti insieme, se si scalda il punto di contatto tra loro, si produce

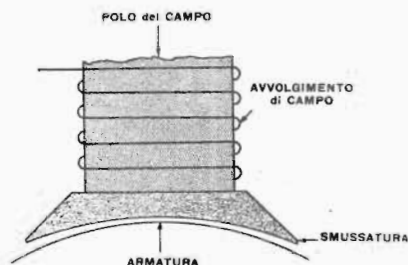



Fig. 10 - In questa figura viene messa in evidenza la smussatura ai bordi di una espansione polare, atta ad attenuare lo spostamento del campo a causa della reazione del rotore.

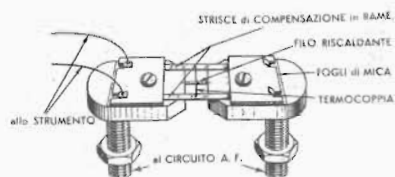



Fig. 11 - Elettricità per effetto termoelettrico: termocoppia. Quella illustrata serve alla misura della corrente ad A.F. Questa viene fatta passare in un conduttore la cui temperatura aumenta in proporzione all'intensità della corrente stessa. L'aumento di temperatura si trasmette alla coppia bimetallica provocando da parte di quest'ultima la produzione di una corrente secondaria che può essere misurata da uno strumento di tipo normale.

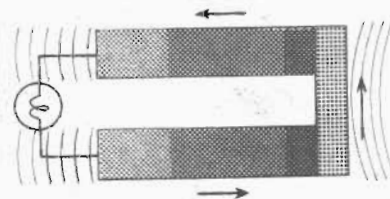



Fig. 12 - Elemento termoelettrico a semiconduttore. Funziona secondo un principio analogo a quello della termocoppia, ma ha una sensibilità circa dieci volte maggiore. La corrente si produce in seguito all'aumento di temperatura apportato alle estremità di due semiconduttori di tipo opposto: l'effetto è reversibile.

una f.e.m.: tale combinazione di metalli si chiama termocoppia.

Il principio termoelettrico trova impiego, tra l'altro, nei misuratori di corrente (amperometri) a termocoppia, i quali misurano l'uscita a radiofrequenza di un trasmettitore. L'amperometro, o strumento misuratore vero e proprio, è azionato dalla f.e.m. generata dalla termocoppia, la quale a sua volta viene riscaldata dalla corrente a radiofrequenza da misurare (**figura 11**).

I più recenti sviluppi hanno rivalutato questo sistema di produzione di energia elettrica, noto da molto tempo (Seebeck - 1821) ma finora, ai fini di una vera e propria utilizzazione pratica (tranne l'uso della termocoppia per misure, di cui si è detto), mai sfruttato.

E' interessante rilevare in tale sistema l'assenza di organi in movimento: è il calore che viene convertito direttamente in corrente. Per inciso, diremo che attualmente si sta seriamente pensando di sfruttare industrialmente anche il principio opposto, mediante il quale, applicando corrente si può ottenere un notevole abbassamento di temperatura: ci si avvia pertanto alla realizzazione di frigoriferi statici.

Il merito del nuovo, vivo interesse che si verifica nei riguardi di questo sistema, va attribuito ai semiconduttori (sostanze dalle caratteristiche di conducibilità medie, tra i conduttori e gli isolanti) che, impiegati in luogo della coppia di metalli differenti, offrono un rendimento di una diecina di volte superiore. Scaldando pertanto un'estremità di un semiconduttore, si sviluppa una corrente elettrica: in alcuni tipi la parte rimasta fredda risulta negativa (in contrapposto all'estremità calda che è positiva), in altri positiva (tipi detti **n** e **p** rispettivamente). La direzione della corrente generantesi è, naturalmente, sempre dall'estremo positivo a quello negativo (come in una pila) per tutti e due i tipi. Ora, se si prendono due semiconduttori di tipo opposto e si congiungono le loro estremità calde (**figura 12**), la corrente prodotta dal tipo « p » scorrerà dall'estremità fredda verso quella calda e il contrario si verificherà per il tipo « n »: se le due estremità libere saranno collegate ai capi da un circuito utilizzatore (ad esempio, una lampadina) attraverso tutto il circuito, compreso perciò il dispositivo elettrico da alimentare, scorrerà la corrente sino a tanto che si provvederà a mantenere caldo il punto di giunzione.

La tensione a disposizione è solo di qualche decimo di volt, però, unendo più coppie del genere, si possono ottenere anche centinaia di volt. Il rendimento raggiunto sinora è del 10% circa, ma si ritiene di poterlo accrescere. In molte applicazioni l'uso di tali generatori è già pienamente giustificato; ad esempio, negli Stati Uniti si costruisce ora un tipo (per il momento unicamente per forniture militari) capace di erogare 100 watt. Il suo peso è di soli 19 kg: viene normalmente alimentato da una bombola di metano ma può essere alimentato anche da altri combustibili.

Futuri sviluppi in questo campo si avranno nello sfruttamento del calore solare.

ELETTRICITA' per EFFETTO PIEZO-ELETTRICO

Il cristallo

Alcuni cristalli sviluppano cariche elettriche tra le loro superfici allorchè vengono assoggettati a pressioni o a tensioni meccaniche: tale fenomeno prende il nome di effetto piezoelettrico. Le cariche elettriche sviluppate sono proporzionali all'intensità della forza applicata al cristallo, e la polarità si inverte con l'alternarsi della pressione e della tensione. Tale effetto è anche reversibile, ossia, se si applica una carica a due armature metalliche tra le quali si trova un cristallo, si ha un movimento meccanico, e se si applica una tensione che inverta periodicamente la sua polarità, il cristallo vibra.

L'effetto piezoelettrico viene usato — vedremo poi in dettaglio — per i microfoni a cristallo e per i trasduttori o rivelatori (« pick-up »); grazie alla reversibilità, si può trasformare la pressione in carica elettrica (come nei microfoni e nei « pick-up »), o la carica elettrica in pressione (come nelle cuffie piezoelettriche).

La quantità di energia prodotta è in relazione alle caratteristiche intrinseche del cristallo, nonchè all'intensità delle sollecitazioni meccaniche alle quali esso è sottoposto. I tipi più comuni di cristalli usati a questo scopo sono il quarzo, i sali di Rochelle, e la tormalina. Allorchè queste sostanze vengono tagliate in maniera appropriata esse denotano la proprietà sopra enunciata.

La forma del cristallo varia a seconda dell'uso che

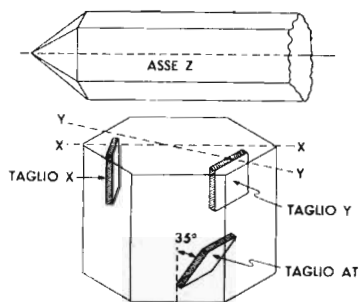



Fig. 13 - Rappresentazione dei tre sistemi principali di taglio di un cristallo piezoelettrico. L'asse AT offre la minore sensibilità alle variazioni di temperatura.

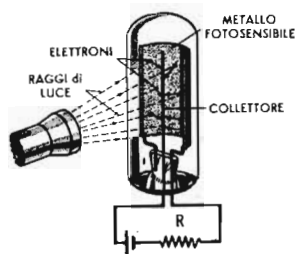



Fig. 14 - Fotocellula a vuoto. Uno strato di materiale fotosensibile emette elettroni (se colpito dalla luce), raccolti da un altro elettrodo (collettore). Gli elettrodi sono uniti al — ed al + di una fonte di energia, in serie ad una resistenza di carico.

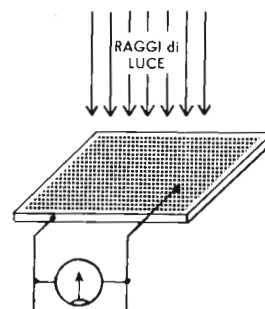



Fig. 15 - Produzione di corrente mediante la « cellula solare ». Essa è composta di un materiale (selenio o silicio) che emette una corrente elettrica proporzionale (fino ad un certo valore massimo), alla luce che lo colpisce.

si intende farne. La tecnica del taglio determina a sua volta le caratteristiche di funzionamento nonchè la polarità relativa della tensione prodotta: in altre parole, a seconda del taglio, uno dei lati può assumere un potenziale positivo mentre l'altro assume un potenziale negativo allorchè il cristallo viene sottoposto ad una pressione, o viceversa.

Alcuni cristalli vengono tagliati con forme geometriche tali da permettere la produzione di tensioni a causa di una flessione in un determinato senso invece che di una pressione.

Il taglio può essere effettuato con diversi angoli rispetto all'asse *X*, *Y* o *Z*, ossia rispetto alle tre dimensioni convenzionali e precisamente orizzontale, verticale e di profondità. La **figura 13** chiarisce meglio questo concetto in quanto illustra come da un cristallo avente una forma di prisma esagonale, possono essere ricavati dei cristalli effettuando il taglio nelle tre direzioni indicate. Lo scopo dei vari tipi di taglio consiste nella necessità di rendere il cristallo ricavato il più possibile indifferente alle variazioni della temperatura ambiente, le quali tendono a variare le caratteristiche della tensione prodotta. Il coefficiente di temperatura è infatti determinato dal tipo di taglio. Il taglio lungo l'asse *X* ha un coefficiente di temperatura negativo, mentre il taglio nel senso dell'asse Y ha un coefficiente positivo: esiste un ulteriore tipo di taglio indicato con le lettere *AT* nella figura, il cui coefficente di temperatura è praticamente zero.

La quantità di corrente che può normalmente passare attraverso un cristallo piezoelettrico va da 50 a 200 milliampère, e, allorchè l'intensità massima viene superata, le vibrazioni del cristallo raggiungono un'ampiezza tale che esso si rompe. Ciò accade naturalmente allorchè il cristallo viene usato in senso passivo, ossia per produrre una energia meccanica in seguito alla applicazione di una tensione. Dal punto di vista da noi ora considerato — e cioè da quello della produzione di energia elettrica — è importante rilevare che, se l'energia aumenta con l'aumentare della sollecitazione meccanica, essa non deve però superare l'intensità massima che il cristallo può sopportare onde non raggiungere il cosiddetto « carico di rottura ». Ne consegue che anche la quantità di energia prodotta è in relazione alle caratteristiche del cristallo.

ELETTRICITA' per EFFETTO FOTO-ELETTRICO

La fotocellula

Una fotocellula consiste di un disco metallico sul quale è stato depositato uno strato di materiale fotosensibile. Sulla parte superiore di detto strato, si deposita un secondo strato di metallo, tanto sottile da permettere il passaggio della luce in modo che raggiunga il materiale sensibile. Il disco metallico costituisce un elettrodo, e lo strato trasparente costituisce il secondo. Quando la luce colpisce la cellula, si produce una f.e.m. e, agli elettrodi viene collegato un carico, si ha un passaggio di corrente.

La cellula fotoelettrica si comporta quindi come un piccolo generatore che produce ai suoi capi una f.e.m. proporzionale alla intensità della luce che la colpisce. Questo principio viene utilizzato negli esposimetri (misuratori della luce) usati dai fotografi.

Esiste un altro tipo di cellula fotoelettrica costituita da un'ampolla di vetro la cui superficie interna è ricoperta da uno strato fotosensibile. Gli elettroni possono essere raccolti da un elemento metallico posto internamente al bulbo e polarizzato con un potenziale positivo, per cui, come illustrato nella **figura 14**, ai capi della resistenza *R* è possibile prelevare una differenza di potenziale determinata dalla caduta di tensione prodotta a sua volta dalla corrente di elettroni emessi a causa della luce.

La tecnica moderna ha ulteriormente perfezionato il sistema fotoelettrico di produzione dell'energia elettrica. Viene ora sfruttata l'energia luminosa del sole mediante la realizzazione delle cosiddette cellule solari (**figura 15**); esse convertono la notevole intensità della luce solare — concentrata mediante sistemi ottici — in correnti elettriche che possono raggiungere intensità tali da risultare adatte all'alimentazione di apparecchi. A questo scopo sono state istallate ad esempio lungo il percorso di linee telefoniche per alimentare gli amplificatori e vengono anche utilizzate per l'alimentazione degli apparecchi elettronici installati sui satelliti artificiali. Questi tipi di cellule possono essere realizzati mediante l'uso del selenio o del silicio: nel primo caso si ottengono correnti di intensità notevolmente inferiori che non nel secondo, per cui, nonostante un costo maggiore, le cellule al silicio sono preferibili allorchè sono necessarie correnti relativamente alte.

SIMBOLI - ABBREVIAZIONI

A = Area (superficie)
B = Densità del flusso magnetico
F = Forza magnetica (in gilbert)
f.m.m. = Forza magnetomotrice
H = Intensità della forza magnetizzante in rapporto alla lunghezza del circuito magnetico
l = Lunghezza
N = Numero delle spire di un avvolgimento (a volte, « n »)
N = Polo Nord di un magnete
P = Permeanza
R = Riluttanza magnetica (espressa in rel)
S = Polo Sud di un magnete
Φ = Fi, numero totale delle linee di forza in un circuito magnetico
μ = Permeabilità

FORMULE

$$B = \frac{\Phi}{A}$$

$$F = 1{,}257\ IN$$

$$H = \frac{1{,}257\ IN}{l}$$

$$IN = \frac{Hl}{1{,}257}$$

$$P = \frac{1}{R\ \text{(riluttanza)}}$$

$$R = \frac{l\ \text{(lunghezza circuito)}}{\mu A\ \text{(permeabilità} \times \text{superficie)}}$$

$$\Phi = \frac{F}{R}$$

$$\mu = \frac{B}{H}$$

SEGNI SCHEMATICI

= Amperometro, Galvanometro, Voltmetro
= Cellula fotoelettrica a fotoemissione
= Cellula fotoelettrica ad assorbimento

DOMANDE sulle LEZIONI 13ª e 14ª

N. 1 - Quale è la caratteristica che distingue un magnete da una sostanza magnetica?

N. 2 - In una barra di acciaio magnetizzata, quali sono i punti in cui l'attrazione magnetica è massima? In quale punto detta attrazione è zero?

N. 3 - In cosa consiste un campo magnetico?

N. 4 - Da quale dei due poli di un magnete escono le linee di forza?

N. 5 - Quale è la definizione di un circuito magnetico?

N. 6 - Quale è la differenza tra un magnete ed un elettromagnete?

N. 7 - Citare due sistemi di magnetizzazione.

N. 8 - Cosa si intende per « magnetismo residuo »?

N. 9 - Come sono disposti i magneti molecolari nell'acciaio non magnetizzato? Come si dispongono dopo la magnetizzazione?

N. 10 - Cosa sono i « dominî »?

N. 11 - Scrivere la formula che determina la densità di flusso B in funzione del flusso totale Φ e della sezione (superficie) del circuito magnetico.

N. 12 - Se una corrente passa in un conduttore in direzione di un osservatore, il campo magnetico che circonda detto conduttore è in senso orario o antiorario nei confronti dell'osservatore stesso?

N. 13 - Come può essere aumentato il campo magnetico di una bobina?

N. 14 - In quale modo è possibile proteggere un qualsiasi dispositivo da eventuali campi magnetici esterni?

N. 15 - Cosa si intende per « maxwell »?

N. 16 - Quali sono i metodi principali per produrre energia elettrica?

N. 17 - Quali sono le parti principali di una dinamo?

N. 18 - Quali sono gli assi di taglio di un cristallo piezoelettrico?

N. 19 - Quale è l'asse di taglio il cui coefficiente di temperatura è più vantaggioso?

N. 20 - Quanti e quali sono i tipi principali di fotocellule?

RISPOSTE alle DOMANDE di Pag. 89

N. 1 -

Tre: in serie, in parallelo ed in serie-parallelo.

N. 2 -

Ammonta a 525 volt. Infatti, poichè V=R×I, abbiamo V = 15.000 ohm × 0,035 ampère = 525 volt.

N. 3 -

L'opposto della resistenza. Viene indicata dalla lettera G ed equivale a 1 : R.

N. 4 -

La corrente ammonta a 8,18 ampère, e viene calcolata applicando la formula I = W : V, ossia I = 900 watt : 110 volt = 8,18 ampère.

N. 5 -

2.500 micromho. Infatti, se R = V : I, la conduttanza è data da I : V, ossia G = 0,25 ampère : 110 volt = 0,0025 mho, pari a 2.500 μmho.

N. 6 -

Un kilowattora rappresenta la dissipazione di 1 kW in un'ora. e corrisponde a 3.600 × 10^3 joule.

N. 7 -

a) = 20 ohm, b) = 25 ohm, c) = 180 Watt, d) = 52,5 volt, e) = 37,5 volt, ed f) = 12.500 micromho.

N. 8 -

Le cellule primarie non possono essere ricaricate dopo aver erogato tutta l'energia in esse contenuta, mentre le cellule secondarie possono essere ricaricate per un numero notevole di volte.

N. 9 -

Verso l'elettrodo positivo.

N. 10 -

La resistenza interna aumenta: la tensione e la corrente diminuiscono, e quest'ultima si approssima a zero.

N. 11 -

Il compito del biossido di manganese è di esercitare una azione depolarizzante, ossia di neutralizzare il fenomeno di polarizzazione.

N. 12 -

La tensione totale ammonta a 15 V, e la corrente rimane quella di 1 ampère.

N. 13 -

Durante la scarica il peso specifico dell'elettrolita diminuisce.

N. 14 -

Per consentire ai gas che si sviluppano durante la carica di espandersi all'esterno senza peraltro danneggiare l'elemento.

La tabella 26 espone in forma sinottica il significato ed il simbolo delle unità magnetiche. Oni qualvolta il lettore si troverà in contatto con lo studio di un circuito magnetico, potrà — consultando detta tabella — richiamare alla memoria tutti quei concetti e quelle formule fondamentali che non gli sono rimaste sufficientemente impresse.

Come abbiamo visto nella lezione 13ª, esiste una notevole analogia tra i principi che governano l'energia elettrica e quelli che invece governano l'energia magnetica, e — per meglio chiarirli unitamente al significato delle varie unità di misura di cui si fa uso nello studio dei circuiti magnetici — riportiamo la tabella 27. Essa consente infatti di constatare direttamente il netto parallelismo che sussiste tra le unità elettriche e le unità magnetiche, la cui assimilazione risulterà pertanto facilitata.

Nella Fisica vengono adottati comunemente due sistemi di misura, in rapporto ai quali le varie unità possono essere conguagliate: il sistema C.G.S., che si basa sulle unità fondamentali « centimetro, grammo e minuto secondo », ed il sistema M.K.S. che si basa invece sulle unità « metro, chilogrammo e minuto secondo ». Poichè potrà accadere di trovare su altri testi quantità e formule espresse secondo entrambi tali sistemi, riportiamo la tabella 28 che facilita la conversione di un sistema di unità nell'altro, e viceversa.

Le tre tabelle ora citate, strettamente connesse tra loro, costituiscono un quadro sinottico della teoria del magnetismo sviluppata nella lezione 13ª, ed è quindi importante che tutte le unità in esse considerate siano ben chiare al lettore. La loro perfetta conoscenza sarà infatti di valido aiuto per la comprensione di tutti quei fenomeni che incontreremo frequentemente nello studio dell'elettronica, e che si basano sul magnetismo e sull'elettromagnetismo. Vedremo infatti allorchè ci occuperemo dei trasformatori (organi di fondamentale importanza in qualsiasi apparecchiatura elettronica, tranne rare eccezioni), quale importanza abbia la densità di flusso, la permeabilità, la forza magnetizzante, ecc.

Tra i vari sistemi di produzione della corrente abbiamo considerato anche le cosiddette coppie termoelettriche. Esse sono poste in commercio in varie forme e dimensioni, a seconda delle esigenze.

Le leghe più comuni adottate per la loro fabbricazione sono raggruppate nella tabella 29. Essa consiste in un grafico dal quale è possibile rilevare la tensione in millivolt fornita da una termocoppia allorchè gli elementi che la compongono vengono portati ad una certa temperatura. Le sei curve riportate nel grafico stesso si riferiscono a sei diversi tipi di termocoppie, ciascuno dei quali è costituito da elementi diversi, come segue:

— C/Si C = Carbonio e lega di Silicio e Carburo.
— Fe/Cost = Ferro e Costantana.
— Cu/Cost = Rame e Costantana.
— Cr/Al = Cromo ed Alluminio.
— Pt/Pt-Re = Platino e lega di Platino e Renio.
— Pt/Pt-Re-Rh = Platino e lega di Platino, Renio e Rodio.

Come si nota, la coppia costituita da Carbonio e da una lega di Silicio e Carburo è la più attiva, in quanto determina una tensione di 100 millivolt (0,1 volt), allorchè viene portata ad una temperatura di 370° C. La coppia Rame/Costantana — per contro — fornisce una tensione di soli 20 millivolt con una temperatura di 390° C.

TABELLA 26 - UNITA' MAGNETICHE e RELATIVE DEFINIZIONI

Termine	Descrizione	Simbolo	Unità Metrica
Flusso	Numero totale delle linee	Φ	1 Maxwell = = 1 linea
Permeabilità	Rapporto tra il fattore Φ del materiale e quello dell'aria	μ	= 1 per l'aria ed il vuoto
Densità di flusso	Linee per unità di superficie, $B = \mu H$	B	1 gauss = 1 linea per cm^2
Forza magnetomotrice	Forza totale che produce il flusso	f.m.m.	1 gilbert = = 1,26 A/sp.
Forza magnetizzante o Intensità di campo	Forza per cm del circuito magnetico	H	1 oersted = $\frac{1{,}26\ \text{amp./spira}}{\text{cm}}$
Riluttanza	Opposizione al flusso	R	$= \frac{\text{gilbert}}{\text{maxwell}}$

TABELLA 27 - CONFRONTO tra UNITA' ELETTRICHE e MAGNETICHE

Unità di	Circuito elettrico	Circuito magnetico
Forza	volt, E, oppure f.e.m.	gilbert, o f.m.m.
Intensità di flusso	ampère, I	Flusso, Φ (in maxwell)
Opposizione . .	ohm, R	Riluttanza (in rel)
Legge	di Ohm, $I = \frac{E}{R}$	di Rowland, $\Phi = \frac{F}{R}$
Intensità di forza	volt per cm	$H = \frac{1{,}257\ IN}{l}$
Densità	Densità di corrente (ampère/cm^2)	Densità di flusso (linee/cm^2 = gauss)

TABELLA 28 - CONVERSIONE delle UNITA' MAGNETICHE C.G.S. in M.K.S.

	Unità C.G.S.	Unità M.K.S.
Forza magnetizzante F	1 gilbert	$\frac{\text{amperspire} \times 4\pi}{10}$
Forza magnetizzante H	1 oersted	$\frac{\text{amperspire/metro} \times 10^3}{4\pi}$
Flusso totale Φ	1 maxwell	weber × 10^{-8}
Densità di flusso B	1 gauss	weber/metro^2 × 10^{-4}

La tabella 30 elenca i valori di B (intensità di flusso) ed i relativi valori di « μ » (permeabilità) e di « H » (forza magnetizzante) per vari materiali di uso comune per la realizzazione di circuiti magnetici. Essa si dimostrerà particolarmente utile per la progettazione di schermi protettivi o di espansioni polari per applicazioni negli altoparlanti, nei microfoni, negli elettromagneti, ecc.

La tabella 31 elenco invece le caratteristiche magnetiche di alcuni materiali impiegati per la fabbricazione di nuclei per avvolgimenti. Il lettore avrà occasione di consultarla allorchè ci occuperemo di trasformatori e di impedenze di Bassa Frequenza.

La Tabella 32 elenca le caratteristiche principali delle leghe più comuni adottate per la fabbricazione di magneti permanenti. Nella lezione 13ª abbiamo studiato le leggi e le formule relative, tuttavia le seguenti brevi note saranno utili per l'interpretazione della tabella, nonchè per valutare una lega adottata o da adottare in un circuito magnetico:

« Br » è la magnetizzazione residua, ed è espressa in gauss, ossia in linee per cm^2. Essa è dunque la densità di flusso che rimane nel materiale dopo la magnetizzazione fino al punto di saturazione, e dopo l'inevitabile abbassamento della magnetizzazione stessa una volta aperto il circuito magnetico. « Hc » è la forza coercitiva, ossia la forza magnetizzante che deve essere applicata ad un magnete per riportare a zero il valore di Br. « BH max × 10^6 » è il prodotto tra la forza magnetizzante e la densità di flusso, ed è espresso sotto forma di prodotto (× 10^6) ossia per un milione, onde evitare troppi zeri nel valore numerico. « Bd » è la densità di flusso B sul ciclo di isteresi esterno (vedi pag. 103), detto anche « curva di smagnetizzazione », corrispondente ad un dato valore di —H, (definito anche Hd), nel punto BH max. « Hd » è il valore negativo di H in rapporto alla lunghezza del circuito magnetico, corrispondente ad un dato valore di B (normalmente nel punto BH max).

« H sat » è infine l'intensità della forza magnetizzante necessaria per magnetizzare il materiale fino alla saturazione, ossia fino a creare in esso il massimo delle linee di forza. Anche questo valore è espresso in oersted.

TABELLA 29 - GRAFICO delle CARATTERISTICHE di ALCUNE COPPIE TERMOELETTRICHE

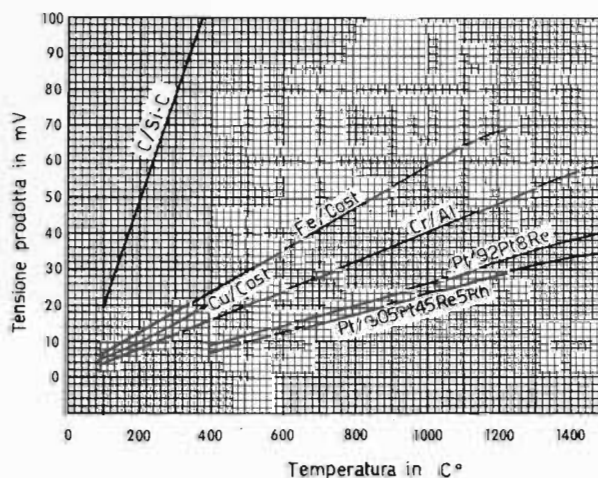



TABELLA 30 - VALORI di B, H, e μ per MATERIALI MAGNETICI di USO COMUNE

B gauss	Acciaio laminato		Acciaio fuso		Ferro fuso		Ferro battuto		Ghisa	
	H	μ	H	μ	H	μ	H	μ	H	μ
3.000	1,3	2.310	2,8	1.070	5,0	600	2,0	1.500	—	—
4.000	1,6	2.500	3,4	1.177	8,5	471	2,5	1.600	5,0	800
5.000	1,9	2.630	3,9	1.281	14,5	347	3,0	1.666	10,0	500
6.000	2,3	2.605	4,5	1.332	24,0	250	3,5	1.716	21,5	279
7.000	2,6	2.700	5,1	1.371	38,0	182	4,0	1.750	42,0	166
8.000	3,0	2.666	5,8	1.380	60,0	133	4,5	1.778	80,0	100
9.000	3,5	2.570	6,5	1.382	89,0	101	5,0	1.800	127,0	71
10.000	3,9	2.560	7,5	1.332	124,0	80,6	5,6	1.782	188,0	53
11.000	4,4	2.500	9,0	1.222	166,0	66,4	6,5	1.692	292,0	37
12.000	5,0	2.400	11,5	1.042	222,0	54,1	7,9	1.510	—	—
13.000	6,0	2.166	16,0	813	290,0	44,8	10,0	1.300	—	—
14.000	9,0	1.558	21,5	651	396,0	38,0	15,0	934	—	—
15.000	15,5	970	32,0	469	—	—	25,0	600	—	—
16.000	27,0	594	49,0	327	—	—	49,0	327	—	—
17.000	52,5	324	74,0	230	—	—	93,0	183	—	—
18.000	92,0	196	115,0	156	—	—	152,0	118	—	—
19.000	149,0	127	175,0	108	—	—	229,0	83	—	—
20.000	232,0	86	285,0	70	—	—	—	—	—	—

Esempio di impiego

Dovendo costruire un'espansione polare di un magnete con un certo materiale — ad esempio con ferro fuso — la tabella ci dice che, se la densità del flusso esistente è, supponiamo, di 10.000 *gauss*, (ossia 10.000 linee al cm^2), la forza magnetizzante *H* ammonta a 124,0 *oersted*, e la permeabilità μ a 80,6.

TABELLA 31 - CARATTERISTICHE di ALCUNE LEGHE MAGNETICHE per NUCLEI

Lega	iniziale Permeabilità μ	Permeabilità massima μ	Intensità di campo max. H	Induzione gauss	Saturazione gauss
Ferro al silicio	500	7.000	1,20	6.000	20.000
Permanorm	2.500	19.000	0,02	4.500	14.000
Megaperm	4.800	26.000	0,08	2.000	8.500
Mumetallo	1.200	45.000	0,09	4.000	8.000
Permalloy	10.000	50.000	0,09	4.500	9.000

Esempio di impiego

Nella costruzione di un indotto avvolto su un nucleo di ferro al silicio, la tabella ci dice che la permeabilità μ di questo materiale varia da un minimo di 500 ad un massimo di 7.000, e che la magnetizzazione di saturazione si verifica allorchè la densità di flusso raggiunge il valore di 20.000 linee al cm^2.

Questi dati consentono il dimensionamento elettrico e meccanico entro limiti di sicurezza.

TABELLA 32 - CARATTERISTICHE delle PRINCIPALI LEGHE per MAGNETI PERMANENTI

Lega	Br gauss	Hc oersted	BH (max) x 16^6	Bd gauss	Hd oersted	H sat. oersted
Alni	6.300	520	1,20	4.200	310	2.000
Alnico I°	5.200	750	1,30	3.000	400	3.000
Alnico II°	7.500	580	1,60	4.500	360	2.500
Alnico IV°	6.000	1.000	2,20	3.500	630	3.500
Alnico V°	12.000	560	4,50	9.500	475	—
Alnico VII°	10.200	700	3,60	7.500	480	3.000
Mexalco	12.200	650	4,50	9.800	460	3.000
Ticonal GX	13.500	720	7,50	12.000	625	—
Ticonal G	13.480	583	5,70	11.000	520	—
Ticonal L	13.500	575	5,40	12.000	450	—
Ticonal C	12.500	680	5,00	9.620	520	—
Ticonal K	9.000	1.300	4,00	5.000	800	—
Reco 3A	7.200	645	1,70	4.350	390	—
Magnadur 1	2.000	1.750	0,95	950	1.000	—
Ferroxdure FXD1	2.000	1.700	0,90	—	—	14.000
Ferroxdure FXD2	3.850	1.800	3,20	—	—	14.000

Esempio di impiego

Nella maggior parte dei casi, il magnete permanente deve avere la massima potenza con le minime dimensioni. Ove queste siano un fattore determinante, una volta nota l'intensità del campo che si desidera ottenere, si può scegliere il materiale adatto a calcolarne la sezione.

Un magnete che debba erogare una densità di flusso — supponiamo — di 20.000 *gauss*, realizzato in lega Mexalco — ad esempio — dovrà avere una sezione di 20.000 (*gauss*): 12.200 (vedi tabella, colonna *Br*) = 1,67 cm^2. Per magnetizzarlo fino alla saturazione, onde avere poi la magnetizzazione residua richiesta, occorre quindi una forza magnetizzante *Hsat* di 3.000 (*oersted*) × 1,67 (cm^2) = 5.010 *oersted*.

TABELLA 33 - CONFRONTO tra ALCUNE CELLULE FOTOELETTRICHE

TIPO di CELLULA	S (A/lumen)	A (cm^2)	H (10^{-4}A/lux)	N (10^{16}qu/lum.)	I max Q max	f max
Cellula fotoemittente, a vuoto 90-AV	0,00005	4	0,0002	1	10 μA	100 MHz
Cellula fotoemittente, a gas 90-AG	0,00013	4	0,0005	1	10 μA	10 kHz
Fotomoltiplicatore 50-AVP .	500	8	4000	1	100 mA	100 MHz
Cellula fotovoltaica al selenio	0,0005	10	0,005	1	50 μW/lumen	2 kHz
Fotodiodo OAP-12	0,05	0,01	0,0005	20	0,12 W	50 kHz
Fototransistore OCP-71 . .	0,3	0,07	0,02	20	0,10 W	750 kHz
Cellula fotoconduttrice al CdS ORP-30 (a 100 V) . . .	16	2,5	40	2	1,2 W	per 30 lux : 3 Hz per 4 lux : 1 Hz

TABELLA 34 - CARATTERISTICHE di ALCUNE BATTERIE SOLARI

CASA PRODUTTRICE e TIPO	DIMENSIONI mm	SUPERFICIE ATTIVA cm^2	RENDIMENTO %	MATERIALE SENSIBILE	ENERGIA INCIDENTE 100 mW/cm^2		
					Pot. mW	Tens. V	Corr. mA
International Rectifier Corp.							
S 1020	10×20	1,75	4	Silicio	7,00	0,35	17,5
S 1020 A	10×20	1,75	6	»	10,50	0,40	26,0
S 1020 B	10×20	1,75	8	»	14,00	0,40	35,0
S 0520	5×20	0,75	4	»	3,00	0,35	7,5
S 0520 A	5×20	0,75	6	»	4,50	0,40	11,2
S 0520 B	5×20	0,75	8	»	6,00	0,40	15,0
S 0510	5×10	0,37	4	»	1,50	0,35	3,8
S 0510 A	5×10	0,37	6	»	2,25	0,40	5,6
S 0510 B	5×10	0,37	8	»	3,00	0,40	7,5
S 1020 M8	10×20	1,80	8	»	14,40	0,40	36,0
S 1020 M9	10×20	1,80	9	»	16,20	0,40	40,5
S 1020 M10	10×20	1,80	10	»	18,00	0,40	45,0
					ENERGIA INCIDENTE 100.000 lux		
1 B 2	18×11	1,70	—	Selenio	0,90	0,26	3,5
B 2 M	18×11	1,70	—	»	1,00	0,50	2,0
1 B 5	18×36	4,90	—	»	2,60	0,26	10,0
1 B 10	18×43	8,00	—	»	4,40	0,26	17,0
1 B 15	43×43	14,50	—	»	7,80	0,26	30,0
1 B 20	50×50	21,00	—	»	9,60	0,26	37,0
1 B 30	82×82	60,00	—	»	26,00	0,26	100,0
Hoffman Electronics							
220 C	20×20	3,80	—	Silicio	26,50	0,55	48,0
120 C	20×10	1,80	—	»	12,50	0,55	23,0
110 C	10×10	0,90	—	»	6,00	0,55	11,0
52 C	5×20	0,80	—	»	6,60	0,55	12,0
51 C	5×10	0,40	—	»	3,30	0,55	6,0
55 C	5×5	0,20	—	»	1,65	0,55	3,0
58 C	5×2,5	0,10	—	»	0,72	0,55	1,3
2 A	⌀ 28	4,75	—	»	33,00	0,55	60,0

La tabella 33 consente un rapido confronto tra alcuni tipi di cellule fotoelettriche. La sensibilità è riferita ad una illuminazione con una lampada a filamento di tungsteno alla temperatura di colore di 2.800° C. La quarta, quinta e sesta colonna dànno rispettivamente il numero dei «quanta» assorbiti per lumen (N), il valore massimo della corrente (I_{max}) in μA o della potenza dissipata (Q_{max}) in W o in μW/lumen, e la massima frequenza ammissibile delle variazioni periodiche in intensità di illuminazione (f_{max}).

La tabella 34 raggruppa le caratteristiche principali delle cellule solari più comuni e di produzione commerciale, alcune delle quali sono già in impiego normale per l'alimentazione di apparecchi radio, di dispositivi speciali installati sui missili, nonchè per la fabbricazione di esposimetri fotoelettrici.

Per ultima, la tabella 35 permette la rapida conversione dei valori di temperatura (espressi in gradi Fahrenheit) in gradi centigradi, e viceversa. Per evitare errori, è bene rilevare che, secondo il sistema americano, la virgola sta per la spaziatura tra gruppi di tre cifre decimali, mentre il punto sostituisce la virgola normale che divide il numero intero dalla parte frazionaria.

TABELLA 35 -
CORRISPONDENZA della TEMPERATURA tra GRADI CENTIGRADI e GRADI FAHRENHEIT e viceversa

°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F
−200	−328.0	−100	−148.0	0	32.0	0	32.0	100	212.0	200	392.0	300	572.0	400	752.0	500	932.0	600	1,112.0	700	1,292.0
−201	−329.8	−101	−149.8	−1	30.2	1	33.8	101	213.8	201	393.8	301	573.8	401	753.8	501	933.8	601	1,113.8	701	1,293.8
−202	−331.6	−102	−151.6	−2	28.4	2	35.6	102	215.6	202	395.6	302	575.6	402	755.6	502	935.6	602	1,115.6	702	1,295.6
−203	−333.4	−103	−153.4	−3	26.6	3	37.4	103	217.4	203	397.4	303	577.4	403	757.4	503	937.4	603	1,117.4	703	1,297.4
−204	−335.2	−104	−155.2	−4	24.8	4	39.2	104	219.2	204	399.2	304	579.2	404	759.2	504	939.2	604	1,119.2	704	1,299.2
−205	−337.0	−105	−157.0	−5	23.0	5	41.0	105	221.0	205	401.0	305	581.0	405	761.0	505	941.0	605	1,121.0	705	1,301.0
−206	−338.8	−106	−158.8	−6	21.2	6	42.8	106	222.8	206	402.8	306	582.8	406	762.8	506	942.8	606	1,122.8	706	1,302.8
−207	−340.6	−107	−160.6	−7	19.4	7	44.6	107	224.6	207	404.6	307	584.6	407	764.6	507	944.6	607	1,124.6	707	1,304.6
−208	−342.4	−108	−162.4	−8	17.6	8	46.4	108	226.4	208	406.4	308	586.4	408	766.4	508	946.4	608	1,126.4	708	1,306.4
−209	−344.2	−109	−164.2	−9	15.8	9	48.2	109	228.2	209	408.2	309	588.2	409	768.2	509	948.2	609	1,128.2	709	1,308.2
−210	−346.0	−110	−166.0	−10	14.0	10	50.0	110	230.0	210	410.0	310	590.0	410	770.0	510	950.0	610	1,130.0	710	1,310.0
−211	−347.8	−111	−167.8	−11	12.2	11	51.8	111	231.8	211	411.8	311	591.8	411	771.8	511	951.8	611	1,131.8	711	1,311.8
−212	−349.6	−112	−169.6	−12	10.4	12	53.6	112	233.6	212	413.6	312	593.6	412	773.6	512	953.6	612	1,133.6	712	1,313.6
−213	−351.4	−113	−171.4	−13	8.6	13	55.4	113	235.4	213	415.4	313	595.4	413	775.4	513	955.4	613	1,135.4	713	1,315.4
−214	−353.2	−114	−173.2	−14	6.8	14	57.2	114	237.2	214	417.2	314	597.2	414	777.2	514	957.2	614	1,137.2	714	1,317.2
−215	−355.0	−115	−175.0	−15	5.0	15	59.0	115	239.0	215	419.0	315	599.0	415	779.0	515	959.0	615	1,139.0	715	1,319.0
−216	−356.8	−116	−176.8	−16	3.2	16	60.8	116	240.8	216	420.8	316	600.8	416	780.8	516	960.8	616	1,140.8	716	1,320.8
−217	−358.6	−117	−178.6	−17	1.4	17	62.6	117	242.6	217	422.6	317	602.6	417	782.6	517	962.6	617	1,142.6	717	1,322.6
−218	−360.4	−118	−180.4	−18	−0.4	18	64.4	118	244.4	218	424.4	318	604.4	418	784.4	518	964.4	618	1,144.4	718	1,324.4
−219	−362.2	−119	−182.2	−19	−2.2	19	66.2	119	246.2	219	426.2	319	606.2	419	786.2	519	966.2	619	1,146.2	719	1,326.2
−220	−364.0	−120	−184.0	−20	−4.0	20	68.0	120	248.0	220	428.0	320	608.0	420	788.0	520	968.0	620	1,148.0	720	1,328.0
−221	−365.8	−121	−185.8	−21	−5.8	21	69.8	121	249.8	221	429.8	321	609.8	421	789.8	521	969.8	621	1,149.8	721	1,329.8
−222	−367.6	−122	−187.6	−22	−7.6	22	71.6	122	251.6	222	431.6	322	611.6	422	791.6	522	971.6	622	1,151.6	722	1,331.6
−223	−369.4	−123	−189.4	−23	−9.4	23	73.4	123	253.4	223	433.4	323	613.4	423	793.4	523	973.4	623	1,153.4	723	1,333.4
−224	−371.2	−124	−191.2	−24	−11.2	24	75.2	124	255.2	224	435.2	324	615.2	424	795.2	524	975.2	624	1,155.2	724	1,335.2
−225	−373.0	−125	−193.0	−25	−13.0	25	77.0	125	257.0	225	437.0	325	617.0	425	797.0	525	977.0	625	1,157.0	725	1,337.0
−226	−374.8	−126	−194.8	−26	−14.8	26	78.8	126	258.8	226	438.8	326	618.8	426	798.8	526	978.8	626	1,158.8	726	1,338.8
−227	−376.6	−127	−196.6	−27	−16.6	27	80.6	127	260.6	227	440.6	327	620.6	427	800.6	527	980.6	627	1,160.6	727	1,340.6
−228	−378.4	−128	−198.4	−28	−18.4	28	82.4	128	262.4	228	442.4	328	622.4	428	802.4	528	982.4	628	1,162.4	728	1,342.4
−229	−380.2	−129	−200.2	−29	−20.2	29	84.2	129	264.2	229	444.2	329	624.2	429	804.2	529	984.2	629	1,164.2	729	1,344.2
−230	−382.0	−130	−202.0	−30	−22.0	30	86.0	130	266.0	230	446.0	330	626.0	430	806.0	530	986.0	630	1,166.0	730	1,346.0
−231	−383.8	−131	−203.8	−31	−23.8	31	87.8	131	267.8	231	447.8	331	627.8	431	807.8	531	987.8	631	1,167.8	731	1,347.8
−232	−385.6	−132	−205.6	−32	−25.6	32	89.6	132	269.6	232	449.6	332	629.6	432	809.6	532	989.6	632	1,169.6	732	1,349.6
−233	−387.4	−133	−207.4	−33	−27.4	33	91.4	133	271.4	233	451.4	333	631.4	433	811.4	533	991.4	633	1,171.4	733	1,351.4
−234	−389.2	−134	−209.2	−34	−29.2	34	93.2	134	273.2	234	453.2	334	633.2	434	813.2	534	993.2	634	1,173.2	734	1,353.2
−235	−391.0	−135	−211.0	−35	−31.0	35	95.0	135	275.0	235	455.0	335	635.0	435	815.0	535	995.0	635	1,175.0	735	1,355.0
−236	−392.8	−136	−212.8	−36	−32.8	36	96.8	136	276.8	236	456.8	336	636.8	436	816.8	536	996.8	636	1,176.8	736	1,356.8
−237	−394.6	−137	−214.6	−37	−34.6	37	98.6	137	278.6	237	458.6	337	638.6	437	818.6	537	998.6	637	1,178.6	737	1,358.6
−238	−396.4	−138	−216.4	−38	−36.4	38	100.4	138	280.4	238	460.4	338	640.4	438	820.4	538	1,000.4	638	1,180.4	738	1,360.4
−239	−398.2	−139	−218.2	−39	−38.2	39	102.2	139	282.2	239	462.2	339	642.2	439	822.2	539	1,002.2	639	1,182.2	739	1,362.2
−240	−400.0	−140	−220.0	−40	−40.0	40	104.0	140	284.0	240	464.0	340	644.0	440	824.0	540	1,004.0	640	1,184.0	740	1,364.0
−241	−401.8	−141	−221.8	−41	−41.8	41	105.8	141	285.8	241	465.8	341	645.8	441	825.8	541	1,005.8	641	1,185.8	741	1,365.8
−242	−403.6	−142	−223.6	−42	−43.6	42	107.6	142	287.6	242	467.6	342	647.6	442	827.6	542	1,007.6	642	1,187.6	742	1,367.6
−243	−405.4	−143	−225.4	−43	−45.4	43	109.4	143	289.4	243	469.4	343	649.4	443	829.4	543	1,009.4	643	1,189.4	743	1,369.4
−244	−407.2	−144	−227.2	−44	−47.2	44	111.2	144	291.2	244	471.2	344	651.2	444	831.2	544	1,011.2	644	1,191.2	744	1,371.2
−245	−409.0	−145	−229.0	−45	−49.0	45	113.0	145	293.0	245	473.0	345	653.0	445	833.0	545	1,013.0	645	1,193.0	745	1,373.0
−246	−410.8	−146	−230.8	−46	−50.8	46	114.8	146	294.8	246	474.8	346	654.8	446	834.8	546	1,014.8	646	1,194.8	746	1,374.8
−247	−412.6	−147	−232.6	−47	−52.6	47	116.6	147	296.6	247	476.6	347	656.6	447	836.6	547	1,016.6	647	1,196.6	747	1,376.6
−248	−414.4	−148	−234.4	−48	−54.4	48	118.4	148	298.4	248	478.4	348	658.4	448	838.4	548	1,018.4	648	1,198.4	748	1,378.4
−249	−416.2	−149	−236.2	−49	−56.2	49	120.2	149	300.2	249	480.2	349	660.2	449	840.2	549	1,020.2	649	1,200.2	749	1,380.2
−250	−418.0	−150	−238.0	−50	−58.0	50	122.0	150	302.0	250	482.0	350	662.0	450	842.0	550	1,022.0	650	1,202.0	750	1,382.0
−251	−419.8	−151	−239.8	−51	−59.8	51	123.8	151	303.8	251	483.8	351	663.8	451	843.8	551	1,023.8	651	1,203.8	751	1,383.8
−252	−421.6	−152	−241.6	−52	−61.6	52	125.6	152	305.6	252	485.6	352	665.6	452	845.6	552	1,025.6	652	1,205.6	752	1,385.6
−253	−423.4	−153	−243.4	−53	−63.4	53	127.4	153	307.4	253	487.4	353	667.4	453	847.4	553	1,027.4	653	1,207.4	753	1,387.4
−254	−425.2	−154	−245.2	−54	−65.2	54	129.2	154	309.2	254	489.2	354	669.2	454	849.2	554	1,029.2	654	1,209.2	754	1,389.2
−255	−427.0	−155	−247.0	−55	−67.0	55	131.0	155	311.0	255	491.0	355	671.0	455	851.0	555	1,031.0	655	1,211.0	755	1,391.0
−256	−428.8	−156	−248.8	−56	−68.8	56	132.8	156	312.8	256	492.8	356	672.8	456	852.8	556	1,032.8	656	1,212.8	756	1,392.8
−257	−430.6	−157	−250.6	−57	−70.6	57	134.6	157	314.6	257	494.6	357	674.6	457	854.6	557	1,034.6	657	1,214.6	757	1,394.6
−258	−432.4	−158	−252.4	−58	−72.4	58	136.4	158	316.4	258	496.4	358	676.4	458	856.4	558	1,036.4	658	1,216.4	758	1,396.4
−259	−434.2	−159	−254.2	−59	−74.2	59	138.2	159	318.2	259	498.2	359	678.2	459	858.2	559	1,038.2	659	1,218.2	759	1,398.2
−260	−436.0	−160	−256.0	−60	−76.0	60	140.0	160	320.0	260	500.0	360	680.0	460	860.0	560	1,040.0	660	1,220.0	760	1,400.0
−261	−437.8	−161	−257.8	−61	−77.8	61	141.8	161	321.8	261	501.8	361	681.8	461	861.8	561	1,041.8	661	1,221.8	761	1,401.8
−262	−439.6	−162	−259.6	−62	−79.6	62	143.6	162	323.6	262	503.6	362	683.6	462	863.6	562	1,043.6	662	1,223.6	762	1,403.6
−263	−441.4	−163	−261.4	−63	−81.4	63	145.4	163	325.4	263	505.4	363	685.4	463	865.4	563	1,045.4	663	1,225.4	763	1,405.4
−264	−443.2	−164	−263.2	−64	−83.2	64	147.2	164	327.2	264	507.2	364	687.2	464	867.2	564	1,047.2	664	1,227.2	764	1,407.2
−265	−445.0	−165	−265.0	−65	−85.0	65	149.0	165	329.0	265	509.0	365	689.0	465	869.0	565	1,049.0	665	1,229.0	765	1,409.0
−266	−446.8	−166	−266.8	−66	−86.8	66	150.8	166	330.8	266	510.8	366	690.8	466	870.8	566	1,050.8	666	1,230.8	766	1,410.8
−267	−448.6	−167	−268.6	−67	−88.6	67	152.6	167	332.6	267	512.6	367	692.6	467	872.6	567	1,052.6	667	1,232.6	767	1,412.6
−268	−450.4	−168	−270.4	−68	−90.4	68	154.4	168	334.4	268	514.4	368	694.4	468	874.4	568	1,054.4	668	1,234.4	768	1,414.4
−269	−452.2	−169	−272.2	−69	−92.2	69	156.2	169	336.2	269	516.2	369	696.2	469	876.2	569	1,056.2	669	1,236.2	769	1,416.2
−270	−454.0	−170	−274.0	−70	−94.0	70	158.0	170	338.0	270	518.0	370	698.0	470	878.0	570	1,058.0	670	1,238.0	770	1,418.0
−271	−455.8	−171	−275.8	−71	−95.8	71	159.8	171	339.8	271	519.8	371	699.8	471	879.8	571	1,059.8	671	1,239.8	771	1,419.8
−272	−457.6	−172	−277.6	−72	−97.6	72	161.6	172	341.6	272	521.6	372	701.6	472	881.6	572	1,061.6	672	1,241.6	772	1,421.6
−273	−459.4	−173	−279.4	−73	−99.4	73	163.4	173	343.4	273	523.4	373	703.4	473	883.4	573	1,063.4	673	1,243.4	773	1,423.4
−273.2	−459.7	−174	−281.2	−74	−101.2	74	165.2	174	345.2	274	525.2	374	705.2	474	885.2	574	1,065.2	674	1,245.2	774	1,425.2
		−175	−283.0	−75	−103.0	75	167.0	175	347.0	275	527.0	375	707.0	475	887.0	575	1,067.0	675	1,247.0	775	1,427.0
		−176	−284.8	−76	−104.8	76	168.8	176	348.8	276	528.8	376	708.8	476	888.8	576	1,068.8	676	1,248.8	776	1,428.8
		−177	−286.6	−77	−106.6	77	170.6	177	350.6	277	530.6	377	710.6	477	890.6	577	1,070.6	677	1,250.6	777	1,430.6
		−178	−288.4	−78	−108.4	78	172.4	178	352.4	278	532.4	378	712.4	478	892.4	578	1,072.4	678	1,252.4	778	1,432.4
		−179	−290.2	−79	−110.2	79	174.2	179	354.2	279	534.2	379	714.2	479	894.2	579	1,074.2	679	1,254.2	779	1,434.2
		−180	−292.0	−80	−112.0	80	176.0	180	356.0	280	536.0	380	716.0	480	896.0	580	1,076.0	680	1,256.0	780	1,436.0
		−181	−293.8	−81	−113.8	81	177.8	181	357.8	281	537.8	381	717.8	481	897.8	581	1,077.8	681	1,257.8	781	1,437.8
		−182	−295.6	−82	−115.6	82	179.6	182	359.6	282	539.6	382	719.6	482	899.6	582	1,079.6	682	1,259.6	782	1,439.6
		−183	−297.4	−83	−117.4	83	181.4	183	361.4	283	541.4	383	721.4	483	901.4	583	1,081.4	683	1,261.4	783	1,441.4
		−184	−299.2	−84	−119.2	84	183.2	184	363.2	284	543.2	384	723.2	484	903.2	584	1,083.2	684	1,263.2	784	1,443.2
		−185	−301.0	−85	−121.0	85	185.0	185	365.0	285	545.0	385	725.0	485	905.0	585	1,085.0	685	1,265.0	785	1,445.0
		−186	−302.8	−86	−122.8	86	186.8	186	366.8	286	546.8	386	726.8	486	906.8	586	1,086.8	686	1,266.8	786	1,446.8
		−187	−304.6	−87	−124.6	87	188.6	187	368.6	287	548.6	387	728.6	487	908.6	587	1,088.6	687	1,268.6	787	1,448.6
		−188	−306.4	−88	−126.4	88	190.4	188	370.4	288	550.4	388	730.4	488	910.4	588	1,090.4	688	1,270.4	788	1,450.4
		−189	−308.2	−89	−128.2	89	192.2	189	372.2	289	552.2	389	732.2	489	912.2	589	1,092.2	689	1,272.2	789	1,452.2
		−190	−310.0	−90	−130.0	90	194.0	190	374.0	290	554.0	390	734.0	490	914.0	590	1,094.0	690	1,274.0	790	1,454.0
		−191	−311.8	−91	−131.8	91	195.8	191	375.8	291	555.8	391	735.8	491	915.8	591	1,095.8	691	1,275.8	791	1,455.8
		−192	−313.6	−92	−133.6	92	197.6	192	377.6	292	557.6	392	737.6	492	917.6	592	1,097.6	692	1,277.6	792	1,457.6
		−193	−315.4	−93	−135.4	93	199.4	193	379.4	293	559.4	393	739.4	493	919.4	593	1,099.4	693	1,279.4	793	1,459.4
		−194	−317.2	−94	−137.2	94	201.2	194	381.2	294	561.2	394	741.2	494	921.2	594	1,101.2	694	1,281.2	794	1,461.2
		−195	−319.0	−95	−139.0	95	203.0	195	383.0	295	563.0	395	743.0	495	923.0	595	1,103.0	695	1,283.0	795	1,463.0
		−196	−320.8	−96	−140.8	96	204.8	196	384.8	296	564.8	396	744.8	496	924.8	596	1,104.8	696	1,284.8	796	1,464.8
		−197	−322.6	−97	−142.6	97	206.6	197	386.6	297	566.6	397	746.6	497	926.6	597	1,106.6	697	1,286.6	797	1,466.6
		−198	−324.4	−98	−144.4	98	208.4	198	388.4	298	568.4	398	748.4	498	928.4	598	1,108.4	698	1,288.4	798	1,468.4
		−199	−326.2	−99	−146.2	99	210.2	199	390.2	299	570.2	399	750.2	499	930.2	599	1,110.2	699	1,290.2	799	1,470.2

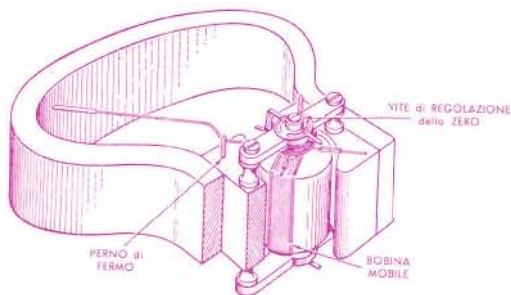
Zero Assoluto

Formule:

$C = 5/9\ (F - 32)$

$F = 9/5\ (C + 32)$

ELECTRONICS

Sul fascicolo della prossima settimana, tra l'altro, la prima delle lezioni dedicate agli strumenti di misura.

Un'esposizione chiara e completa sull'argomento, con numerose illustrazioni: indispensabile premessa alla descrizione di diverse realizzazioni.

I numeri arretrati costano lire 300 cadauno, tuttavia, per agevolare coloro che fossero privi di tutti i fascicoli sinora pubblicati offriamo l'invio — franco a domicilio — dei 4 fascicoli, per il solo importo di lire 600.

---

corso di RADIOTECNICA

pubblicazione settimanale - 5 - 12 novembre 1960 - un fascicolo lire 150 6° numero

corso di RADIOTECNICA

settimanale a carattere culturale

Direzione, Amministrazione, Pubblicità:
Via dei Pellegrini 8/4 - Telef. 593.478
MILANO

Ogni fascicolo — contenente 3 lezioni — costa lire 150, acquistato alle edicole.

Se l'edicola risulta sprovvista, o si teme di rimanere privi di qualche numero, si chieda invio settimanale direttamente al proprio domicilio a mezzo abbonamento.

Il versamento per ricevere i 52 fascicoli costituenti l'intero Corso è di lire 6500 + I.G.E. = lire 6630. A mezzo vaglia postale, assegno bancario, o versamento sul conto corr. postale 3/41.203 del « Corso di RADIOTECNICA » - Via dei Pellegrini 8-4 - Milano. In ogni caso, scrivere in modo molto chiaro e completo il proprio indirizzo.

L'abbonamento può essere effettuato in qualsiasi momento; si intende comprensivo delle lezioni pubblicate e dà diritto a ricevere tali lezioni, che saranno inviate con unica spedizione.

Estero: abbonamento al Corso, Lit. 8.500. ($ 15). Numeri singoli Lit. 300 ($ 0,50).

Per i cambi di indirizzo durante lo svolgimento del Corso, unire lire 100, citando sempre il vecchio indirizzo.

Fascicoli singoli arretrati — se disponibili — possono essere ordinati a lire 300 cadauno.
Non si spedisce contrassegno.

Distribuzione alle edicole di tutta Italia: Diffus. Milanese . Via Soperga, 57 - Milano.

Direttore responsabile: Giulio Borgogno.

Autorizzaz. N. 5357 - Tribunale di Milano.

Stampa: Intergrafica S.r.l. - Cologno Monzese.

La Direzione non rivende materiale radio; essa può comunicare, se richiesta, indirizzi di Fabbricanti, Importatori, Grossisti ecc. in grado di fornire il necessario ed ai quali il lettore può rivolgersi direttamente.

Alla corrispondenza con richiesta di informazioni ecc. si prega allegare sempre il **francobollo per la risposta**.

Parte del testo e delle illustrazioni è dovuta alla collaborazione del Bureau of Naval Personnel, nonchè al Dept. of the Army and the Air Force - U.S.A.

A chi può essere utile questo Corso? Anzitutto — stante la sua impostazione — il Corso, basato sull'esposizione in forma a tutti accessibile, della radiotecnica, dai suoi elementi basilari alla evoluzione più recente, rappresenta la forma ideale per tutti coloro che intendono dedicarsi all'elettronica, sia come forma ricreativa sia — soprattutto — per l'acquisizione di una professione specializzata che possa procurare loro una posizione di privilegio in seno alla società odierna.

Anno per anno, la nostra civiltà si indirizza sempre più verso questa meravigliosa, si potrebbe dire fascinosa, elettronica, che nel modo più evidente consente sviluppi impensati, progressi grandiosi e una rapida evoluzione di tutti gli altri rami dello scibile che essa tocca e influenza.

L'industria, tutta l'industria, nel senso più ampio, da quella elettrotecnica a quella meccanica, alla metallurgica, alla chimica ecc., con i suoi laboratori di ricerca e le sue fabbriche richiede, e richiederà sempre più, con un ritmo rapidamente crescente, tecnici specializzati con conoscenza dell'elettronica, tecnici specificatamente elettronici e persino operai e impiegati di ogni ordine e categoria con cognizioni di elettronica.

Si può dire che anche le branche commerciali, quelle dei trasporti e persino quelle amministrative con le recenti introduzioni delle calcolatrici, abbisognano di personale che conosca i principi dell'elettronica, le macchine relative, il loro pieno sfruttamento, la eventuale riparazione ecc. e, quanto più in modo completo, quanto meglio.

Nasce, da una tale situazione, una logica conseguenza: per la scelta di una professione o di un mestiere, per un miglioramento della propria posizione sociale, per l'intrapresa di una libera attività o anche per la sola acquisizione di cognizioni che indubbiamente verranno oltremodo utili, è quanto mai opportuno riflettere se non sia conveniente dedicare un po' di tempo allo studio di questa scienza che ha tra l'altro il pregio di rendersi immediatamente attraente, concreta, accessibile e foriera di moltissime soddisfazioni.

A questo scopo appunto, e con questi intenti, è stato redatto questo Corso.

Non mancano invero altri corsi (specie per corrispondenza) o scuole di radiotecnica, nè mancano (sebbene siano in numero del tutto inadeguato) scuole statali o pareggiate ma la struttura e l'impostazione che caratterizzano queste 156 lezioni sono alquanto particolari, presentando non pochi vantaggi sulle diverse altre forme di cui si è detto.

Anzitutto vogliamo porre in evidenza **il fattore economico.**

Frequentare regolarmente, durante tutto l'anno, una scuola è certo il modo più logico — anche se non il più rapido — per apprendere ma, tralasciando il fatto che rarissimi sono gli Istituti di radiotecnica, è a tutti possibile dedicarsi esclusivamente, e per l'intero anno, allo studio? Noi riteniamo che chi può farlo costituisca oggi assai più l'eccezione che la regola. Ciò significa infatti poter disporre liberamente del proprio tempo senza avere la necessità di un contemporaneo guadagno: il nostro Corso permette a chiunque di studiare a casa propria, nelle ore libere dal lavoro, senza abbandonare o trascurare quest'ultimo. Ciò caratterizza invero anche altri corsi, ma il vantaggio economico diviene notevole ed evidentissimo se si considera che di fronte all'esborso, anche se rateale, di quasi 80.000 lire che i corsi per corrispondenza richiedono, seguendo il nostro Corso la spesa in un anno risulta di poco più di 7500 lire (150 lire alla settimana presso un'edicola) o di 6630 lire totali, con recapito postale, settimanale, delle lezioni a domicilio.

E' superfluo dire che la Modulazione di Frequenza, i transistori, i circuiti stampati, la trasmissione, il telecomando ecc. sono argomenti integrali del Corso e non costituiscono motivo di corsi speciali, aggiunti o particolari.

Le lezioni di questo Corso — a differenza di molte altre — non sono stampate con sistemi di dispensa, a ciclostile, o con sistemi più o meno analoghi, derivanti cioè da un originale battuto a macchina da scrivere; esse sono stampate in uno stabilimento grafico, con chiari caratteri tipografici da cui deriva una assai più agevole lettura e — fattore certamente di non secondaria importanza — un contenuto molto più ampio, corrispondendo una pagina a stampa a tre o quattro pagine di quelle citate. Il lettore avrà, alla fine del Corso, un volume di ben 1248 pagine di grande formato!

Chiunque, indipendentemente dall'età, dalla professione e dalle scuole compiute **può seguire il Corso.** Alle esposizioni teoriche si abbinano numerose, attraenti, istruttive ed utili descrizioni che consentono la realizzazione di ricevitori, amplificatori, strumenti vari e persino di trasmittenti su onde corte.

A questo proposito è sintomatico il fatto che la Direzione non vuole assolutamente assumere la fisionomia di un fornitore o commerciante di materiale radio, rivendendo agli allievi le parti necessarie. Il materiale occorrente l'interessato può acquistarlo dove e come meglio crede e, assai spesso anzi, già ne dispone. Viene così evitato l'acquisto forzoso, caratteristico più o meno di tutti gli altri corsi.

Anche chi è già radiotecnico, anche chi ha seguito o segue altri corsi troverà il massimo tornaconto in questo completo ed aggiornato lavoro. Molte nozioni, è logico, saranno note, altre un po' meno e sarà utile rinfrescarle, e il tutto infine costituirà un manuale di consultazione, prezioso tanto per la teoria esposta quanto per i numerosi schemi, per le tabelle, per i grafici, gli elenchi, i dati, il vocabolario dei termini ecc.

Concludendo, si può affermare che questo **Corso di Radiotecnica** oltre che come insegnamento graduale si presenta come **enciclopedia e rivista assieme** ciò che permette di formare — con modestissima spesa — **il più completo, ricco, utile e pratico volume di radiotecnica di cui sia dato oggigiorno disporre.**

CIRCUITI ELETTRICI SEMPLICI

Abbiamo già visto nelle lezioni precedenti che cosa si intende per circuito elettrico e come si possono predisporre circuiti in serie, circuiti in parallelo e circuiti misti, cioè in serie-parallelo; abbiamo poi fatta la conoscenza delle unità pratiche di misura della corrente che circola nei circuiti stessi e delle relazioni esistenti tra dette unità. E' opportuno ora che i circuiti di cui sopra, e gli elementi che li compongono, vengano esaminati in modo più analitico nel loro funzionamento perchè, in pratica, saranno sempre disposizioni del genere — più o meno variamente combinate — che incontreremo, attuate sotto l'aspetto di apparecchiature elettroniche o di applicazioni delle stesse.

CIRCUITI in SERIE

Il circuito di **figura 1,** che già conosciamo, è un circuito formato da tre resistenze poste in serie rispetto ad una sorgente di energia. Incidentalmente diremo che la tensione e la corrente, in tale circuito, raggiungono i valori massimi e minimi nel medesimo istante (esse vengono dette per questo fatto, *in fase*); vedremo, più avanti, quale importanza assuma il fatto che tensione e corrente siano o meno in fase tra loro.

Facciamo osservare anche che, in un circuito a c.c., le cadute di tensione hanno una loro polarità: ossia il lato dal quale *la corrente entra* nella resistenza *è negativo*, quella dal quale *esce è positivo*.

Dalla caratteristica di cui sopra consegue che nel circuito di figura 1 la corrente può scorrere in una unica direzione. Altra caratteristica importante del circuito è che l'ammontare di tale corrente è eguale e costante in tutti i punti del circuito stesso. Esaminiamo infatti un tale circuito (**figura 2** - circuito corrispondente a quello di figura 1). In esso *A1*, *A2*, *A3* ed *A4* rappresentano degli amperometri (strumenti misuratori dell'intensità di corrente) inseriti in vari punti: indipendentemente dal valore della tensione applicata E_T e da quello della resistenza totale del circuito (R_1 + R_2 + R_3), le letture dei vari strumenti sono tutte identiche tra loro; se avviene una variazione — sia nella tensione che nella resistenza — ad essa corrisponde una variazione di lettura del medesimo ammontare in tutti gli strumenti.

Ricordiamo che gli strumenti indicati nel circuito, gli amperometri, devono essere collegati « in serie » al circuito, e quindi il circuito stesso deve essere aperto per inserirvi lo strumento. Nel circuito in serie valgono le seguenti leggi:

1) La corrente — come abbiamo detto — è la stessa in tutti i punti del circuito, quindi

$$I_{Totale} = I_1 = I_2 = I_3$$

2) La somma delle cadute di tensione lungo il circuito in serie, è eguale alla intera tensione applicata E_T, quindi

$$E_{Totale} = E_1 + E_2 + E_3$$

Resistenze in serie

La legge di Ohm può essere applicata al circuito intero, come anche ad ognuno dei singoli componenti del circuito stesso, il che può essere così espresso: nel primo caso (cioè circuito intero):

1) La corrente totale che scorre in un circuito, equivale al rapporto tra la tensione totale e la resistenza totale.

e nel secondo caso (singoli componenti), nel modo seguente:

2) La corrente che scorre in un dato punto di un circuito, equivale al rapporto tra la tensione presente ai capi di quel dato componente e la sua resistenza.

Applicando la legge di Ohm all'intero circuito della figura 2 si ha:

$$E_{Totale} = I\,R_{Totale}$$

La caduta di tensione individuale presente ai capi di ogni resistenza può essere espressa come segue:

$$E_1 = IR_1;\ E_2 = IR_2;\ E_3 = IR_3$$

Esprimendo ora la tensione di alimentazione e le cadute di tensione lungo il circuito in termini di cadute *IR*, si ha:

$$I\,R_{Totale} = IR_1 + IR_2 + IR_3$$

e dividendo entrambi i membri dell'equazione per *I* (cioè sopprimendo *I* in entrambi i membri), si ha:

$$R_{Totale} = R_1 + R_2 + R_3$$

Da ciò si deduce che **in un circuito in serie, la resistenza totale è eguale alla somma delle resistenze dei vari componenti** separati.

La resistenza totale di un circuito viene detta *resistenza equivalente*, la quale è in sostanza il valore resistivo unico che può essere posto in sostituzione come carico senza che la corrente subisca per questo variazioni.

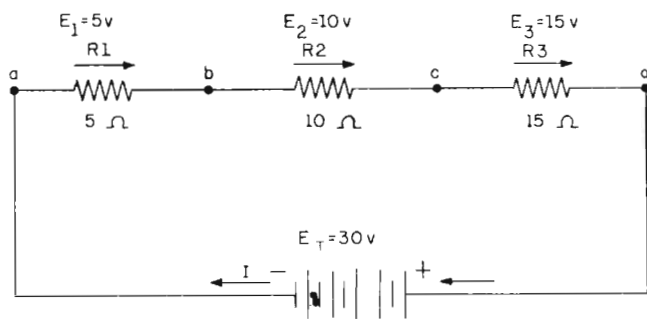



Fig. 1 — Circuito di tre resistenze in serie. La tensione ai capi delle resistenze è in rapporto al loro valore: il totale risulta sempre pari a quello della sorgente di tensione.

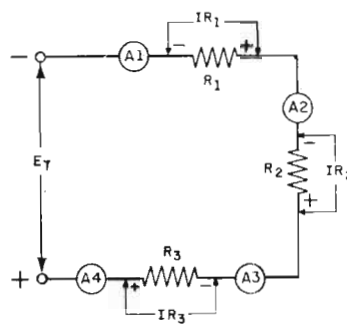



Fig. 2 — La corrente, in un circuito in serie è eguale e costante in tutti i punti del circuito stesso, come possono indicare i vari amperometri.

Potenza in un circuito in serie.

Poichè in tutti i punti di un circuito in serie la corrente è costante, anche il lavoro viene compiuto contemporaneamente in tutte le resistenze che compongono il circuito, quindi la potenza totale logicamente è data da:

$$P_{\text{Totale}} = P_1 + P_2 + P_3$$

ossia, per calcolare la potenza dissipata in un circuito in serie, come ad esempio quello di figura 2, si può:

1) computare le dissipazioni individuali e addizionarle, oppure

2) usare i valori totali come segue:

$$P_{\text{Totale}} = E_T \times I_T$$

Analisi di un circuito in serie.

Un collegamento in serie spesso adottato è quello dei circuiti dei filamenti delle lampade, e, poichè detti filamenti devono funzionare ad un solo ben definito valore di corrente, è necessario che questa sia costante in tutti i punti del circuito. Da ciò si deduce che, se per caso si verifica un mutamento nel circuito, è necessario che venga variata di conseguenza la tensione onde mantenere la corrente al suo giusto valore.

Per il motivo di cui sopra i circuiti in serie dei filamenti vengono spesso chiamati *circuiti a corrente costante* e a tensione variabile, ed ogni volta che una lampada è aggiunta o tolta dal circuito, è necessario regolare nuovamente la tensione.

Due dispositivi che non lavorano con la medesima corrente, non possono funzionare appropriatamente se collegati in serie: ad esempio, una lampada per 120 volt, 75 watt, richiede una corrente di 0,625 ampère ($I = W : V$); se tale lampada viene collegata in serie con un'altra pure per 120 volt ma da 60 watt (che richiede 0,500 ampère), è impossibile regolare la tensione di alimentazione in modo che entrambe abbiano la esatta luminosità. Infatti, se la tensione è regolata in modo da fornire una corrente di 0,500 ampère, quella da 75 watt non riceve energia sufficiente, mentre se viene regolata per una corrente di 0,625 ampère, quella da 60 watt viene sovraccaricata.

Il circuito in serie è particolarmente suscettibile di guasti e inconvenienti: se, per caso, anche una sola lampada si brucia e si interrompe, il circuito resta aperto e tutte le altre lampade restano prive di alimentazione. Ciò accade ad esempio, per le lampade di un albero di Natale, che sono appunto collegate in serie. Può accadere per contro, che una lampada vada in cortocircuito e in questo caso si ha un altro inconveniente: mancando la sua resistenza le altre lampade subiscono una pericolosa tensione, superiore a quella necessaria e per loro normale.

Vi sono nonostante ciò alcune applicazioni nelle quali i circuiti in serie sono impiegati vantaggiosamente: ad esempio, nell'illuminazione delle strade, dove i circuiti vengono controllati facilmente; in questo caso l'enorme risparmio di cavo di collegamento supera ogni altra considerazione. Viene risparmiato cavo perchè facendo ricorso ad una sorgente di tensione relativamente alta e, appunto, ad un circuito in serie, si possono usare conduttori più sottili in quanto la corrente è inferiore a quella che si avrebbe qualora le lampade fossero tutte collegate in parallelo tra loro. Nei circuiti in serie del tipo usato per l'illuminazione stradale, è necessario comunque adottare alcuni accorgimenti sia per ristabilire la continuità se una lampada si brucia, sia per la tensione applicata allo scopo di mantenere costante la corrente. Il primo problema viene risolto mettendo in parallelo ad ogni lampada un dispositivo detto «disco a pellicola isolante»: esso agisce come isolante alla normale caduta di tensione presente ai capi della lampada, quando il circuito è continuo.

Se la lampada però si interrompe, la pellicola isolante viene a subire — sia pure per un istante — l'intera tensione di alimentazione, poichè, verificandosi l'interruzione, si ha assenza di corrente e in assenza di corrente non vi è caduta di tensione attraverso le altre lampade. In tal caso la tensione è abbastanza forte da forare la speciale pellicola isolante: resta, per questo fatto, attuato un cortocircuito ai capi della lampada interrotta e viene ristabilita di conseguenza la continuità dell'intero circuito. L'azione si verifica così rapidamente che, in pratica, si nota solo una breve sospensione dell'intensità luminosa.

A questo punto però si produce il caso in cui (mancando il consumo di una lampada) il resto del circuito viene sovraccaricato: la tensione necessaria per un certo numero di lampade, viene infatti applicata a tutte

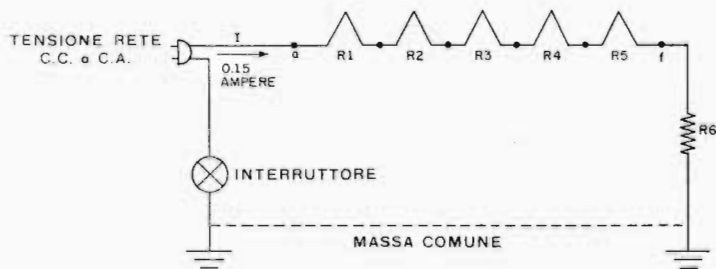



Fig. 3 — Circuito relativo all'accensione di filamenti di valvole (R_1, R_2, ecc.) in serie. La resistenza R_6 chiude il circuito e viene scelta di valore tale da far sì che tra i punti « a » ed « f » sia presente una tensione pari alla somma delle tensioni necessarie per ogni singola valvola.

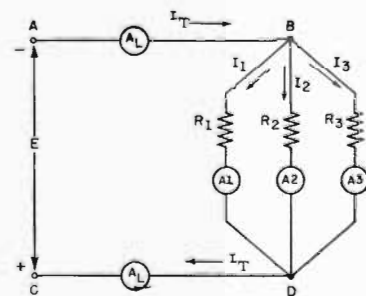



Fig. 4 — Circuito di tre resistenze in parallelo. Ogni resistenza costituisce un circuito a sè. La corrente di linea si suddivide nei tre rami.

le lampade meno una. Occorre un regolatore della corrente.

Un tipo di regolatore a corrente costante che rimedia a tale inconveniente consiste in un *trasformatore* (organo capace di innalzare o abbassare una data tensione) munito di un dispositivo mobile che si sposta automaticamente per dare una corrente costante per qualsiasi carico, entro la sua portata massima.

Il funzionamento del trasformatore è tale che una tensione ad esso applicata in un circuito detto « primario » trasferisce una tensione in altro circuito detto « secondario »; il grado di accoppiamento tra i due avvolgimenti controlla l'ammontare della tensione trasferita o meglio *indotta* nel secondario per l'alimentazione del circuito. Se uno dei componenti del circuito in serie viene eliminato, in questo speciale trasformatore il grado di accoppiamento si riduce, col risultato di una minore tensione indotta, e, quindi, di un ristabilimento della corrente al suo valore iniziale.

Nei radioricevitori, come vedremo presto, sono impiegate particolari lampade dette *valvole*; le valvole richiedono il riscaldamento di un loro elemento noto come *filamento*, e tale riscaldamento avviene facendo circolare — a somiglianza di quanto avviene in una comune lampadina — la corrente nel filamento stesso che, per tale fatto, è portato al calore rosso. In determinati tipi di ricevitori i diversi filamenti vengono collegati in serie tra loro e a volte una adatta resistenza di caduta (R6) viene posta nel circuito per abbassare la tensione di rete fino al valore opportuno (**figura 3**).

CIRCUITI in PARALLELO

La corrente in un circuito in parallelo.

Un circuito in parallelo è costituito da due o più circuiti nei quali può scorrere la corrente; un esempio è visibile in **figura 4** in cui si notano tre resistenze in parallelo, (in inglese, « shunt »), ai capi delle quali è applicata una tensione, ed ognuna delle quali costituisce un circuito separato. La corrente totale che entra ed esce dalla combinazione si chiama *corrente di linea*, ed è costituita dall'intera corrente fornita dalla sorgente di energia; nel nostro caso, può essere misurata inserendo un amperometro in qualsiasi punto della linea compreso tra *A* e *B* o tra i punti *C* e *D*. Nel punto *B* essa si divide nei tre rami in *I1*, *I2* ed *I3* e nel punto *D* le tre correnti si riuniscono per tornare a formare la corrente di linea che ritorna alla sorgente di energia.

Tutto ciò illustra una legge relativa ai circuiti in parallelo: **la corrente totale fornita al circuito è eguale alla somma delle correnti che percorrono i vari rami**, cioè:

$$I_{Tot} = I_1 + I_2 + I_3$$

In altre parole, la somma delle correnti che entrano in un nodo è eguale alla somma di quelle che ne escono. Usando un segno positivo per indicare le correnti che entrano in un nodo, e facendo riferimento al punto *B* del circuito di figura 4, si ha:

$$+ I_{Tot} - I_1 - I_2 - I_3 = O$$

Si noti che questa equazione non è che una seconda versione dell'equazione precedente.

La tensione in un circuito in parallelo.

Il rapporto tra le tensioni in un circuito in parallelo è mostrato nella **figura 5** nella quale vediamo nuovamente tre resistenze collegate in parallelo ai capi di una sorgente di alimentazione.

Il voltmetro *V* è collegato ai capi di tutti e tre i rami, come pure ai capi della sorgente. Se consideriamo trascurabile la resistenza dei fili di collegamento, vediamo che il terminale superiore di ognuna delle resistenze è al medesimo potenziale del terminale superiore della sorgente, rispetto ai rispettivi terminali inferiori, e viceversa, il che ci permette di constatare un'altra legge relativa ai circuiti in parallelo, e cioè che **la tensione applicata a tutti i rami di un circuito in parallelo è la medesima**:

$$E_{Tot} = E_1 = E_2 = E_3$$

Più avanti constateremo che, quando i valori delle resistenze di carico di un circuito sono molto bassi, il valore di resistenza dei collegamenti, normalmente basso, deve essere anch'esso considerato, in quanto risulta, in tal caso, relativamente grande in confronto alla resistenza del carico; la caduta di tensione *IR* che si produce nel conduttore non è più trascurabile.

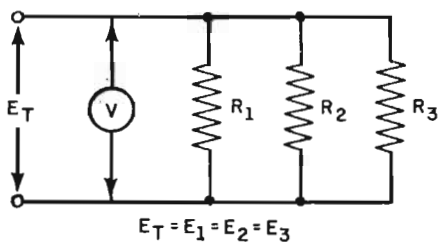



Fig. 5 — In un circuito in parallelo la tensione applicata ai diversi rami (R_1, R_2, R_3) è sempre la medesima, cioè: ET = la tensione ai capi di R_1, di R_2, di R_3.

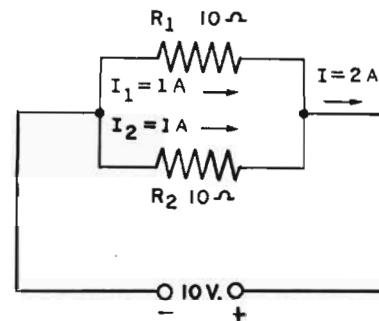



Fig. 6 — La corrente che la sorgente deve fornire, in un circuito in parallelo, è pari alla somma delle correnti dei diversi rami, cioè: $I_T = I_1 + I_2$.

Resistenze in parallelo.

Ricordiamo che, in un circuito in serie con più di una resistenza, la resistenza totale è eguale alla somma di tutte le resistenze, ed è maggiore di ognuna di esse. Ciò non accade nei circuiti in parallelo: il motivo può essere chiaramente illustrato dall'analogia con lo scorrimento dell'acqua in un tubo. Aumentando la resistenza del circuito, (somma di più resistenze = circuito in serie) si ottiene il medesimo effetto che si otterrebbe allungando il tubo attraverso il quale l'acqua deve scorrere, ossia aumentando la resistenza del tubo stesso. Se invece — mantenendo la lunghezza originale e la medesima pressione dell'acqua — colleghiamo un altro tubo affiancato al primo, (circuito con resistenze in parallelo) ossia in parallelo al primo, l'acqua può percorrere due strade e scorre complessivamente in maggiore quantità; aumentando ulteriormente il numero dei tubi, la resistenza diminuisce sempre più, e, purchè la pressione rimanga costante, passa una sempre maggiore quantità d'acqua.

Vediamo un esempio pratico: nel circuito in parallelo della **figura 6** ogni resistenza oppone 10 ohm di resistenza alla corrente; la tensione è applicata ai capi di ognuno dei rami, quindi si ha una corrente di 1 ampère in ogni resistenza. Tuttavia, quando le correnti si riuniscono, la corrente di linea è di 2 ampère. Applicando la legge di Ohm al circuito, si ha:

$$Re = \frac{E_{Tot}}{I_{Tot}} = \frac{10}{2} = 5 \text{ ohm}$$

ove *Re* sta per *resistenza equivalente*, ossia resistenza totale.

Per cui la resistenza equivalente di due rami eguali è eguale alla metà di uno dei due. Il circuito ora preso in esame alla figura 6 è un circuito in parallelo nel quale i rami hanno la medesima resistenza.

Facciamo ora un esempio — sempre riferendoci ad un circuito come da figura 6 — con altri valori. Supponiamo che la tensione sia di 12 volt e le resistenze di 6 ohm.

Una tensione di 12 volt provoca una corrente di 2 ampère in una resistenza di 6 ohm ($I = V : R$); se si collega una seconda resistenza di 6 ohm in parallelo alla prima, anche questa verrà percorsa dalla medesima corrente. La resistenza equivalente alla combinazione delle due resistenze è data, come abbiamo testè visto, dalla equazione:

$$R = \frac{E}{I}$$

ossia:

$$Re = \frac{12\ V}{4\ A} = 3 \text{ ohm}$$

Se si collegano infine tre resistenze da 6 ohm in parallelo ai capi di una sorgente di 12 volt, la corrente di linea sarà di 6 ampère, e la resistenza totale di 2 ohm, ossia un terzo della resistenza di ognuno dei rami.

E' evidente che la resistenza totale o equivalente di diverse resistenze eguali collegate in parallelo, equivale alla resistenza di una sola divisa per il numero delle resistenze: ad esempio, se cinque resistenze da 20 ohm vengono collegate in parallelo, la resistenza equivalente sarà:

$$Re = \frac{20}{5} = 4 \text{ ohm}$$

E' importante ricordare che la resistenza equivalente di un circuito in parallelo *è sempre inferiore* al valore della minore resistenza presente nel circuito.

Vi sono più metodi per determinare la resistenza equivalente di vari circuiti in parallelo; acquistando una certa familiarità con detti metodi, si risparmia molto tempo.

Abbiamo testè spiegato come si determina la resistenza totale o equivalente *Re*, in un circuito formato da resistenze di eguale valore. Possiamo asserire che uno dei sistemi più semplici per determinare *Re* consiste nell'usare la tensione e la corrente totale con la legge di Ohm, come si è visto, ossia:

$$Re = \frac{E_T}{I_T}$$

In base a questa equazione anche la corrente di ogni ramo può essere conosciuta se è nota la resistenza del ramo stesso. La corrente individuale può essere determinata infatti, da:

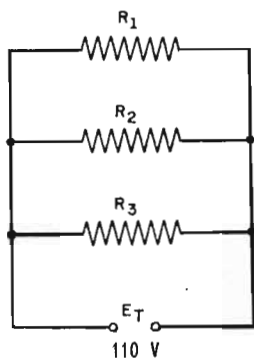



Fig. 7 — In un circuito in parallelo per trovare il valore della resistenza equivalente si può seguire il metodo della « conduttanza ». In base a tale metodo si deve ricordare che l'inverso della resistenza totale è pari alla somma dell'inverso di ogni singola resistenza. Trovata la resistenza equivalente si ricava il valore di corrente totale con la legge di Ohm.

$$I_1 = \frac{E_T}{R_1}; \quad I_2 = \frac{E_T}{R_2}$$

Metodo della conduttanza.

Quando i vari rami di un circuito in parallelo non hanno la medesima resistenza, ci si può servire delle varie conduttanze per determinare la resistenza equivalente.

Poichè in un circuito in parallelo la sorgente può percorrere varie strade o percorsi, si ottiene il medesimo effetto che si otterrebbe aumentando la superficie della sezione del conduttore originale, per cui la corrente che scorre attraverso la resistenza è proporzionale alla conduttività di ogni ramo.

Sappiamo che la conduttanza G di un circuito è l'inverso della resistenza, ossia

$$G = \frac{1}{R}$$

il che significa che minore è la resistenza opposta al passaggio della corrente, maggiore è la conduttività ossia la facilità con cui il circuito la conduce.

La conduttanza totale di un circuito in parallelo equivale alla somma delle conduttanze dei vari rami, come segue:

$$G_{Totale} = G1 + G2 + ...$$

Nel circuito della figura 6 la conduttanza totale può essere determinata dalla equazione

$$\frac{1}{Re} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Vediamo ora come si ottiene detta equazione applicando la legge di Ohm: poichè

$$I_{Tot} = I_1 + I_2$$

in un circuito in parallelo, è possibile sostiture i valori di corrente secondo la legge di Ohm ($I = E : R$) come nell'equazione seguente, per cui si ha:

$$\frac{E}{Re} = \frac{E}{R_1} + \frac{E}{R_2}$$

e dividendo entrambi i membri dell'equazione per E si ottiene:

$$\frac{1}{Re} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \text{ ossia}$$

$$Re = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}$$

quindi, **in un circuito in parallelo, l'inverso della resistenza totale è eguale alla somma dell'inverso delle resistenze di ogni ramo,** ossia la resistenza totale è eguale all'inverso della somma dei reciproci delle singole resistenze.

Poichè la resistenza totale, o equivalente, è minore di ognuna delle resistenze in parallelo tra loro, ne deriva che la corrente di linea è sempre maggiore di quella che passa nel ramo in cui si ha corrente più alta.

Le due equazioni equivalenti, ultime viste, possono essere usate per resistenze sia eguali che disuguali, e sono molto facili da ricordare.

Ecco due esempi di impiego. Trovare la resistenza equivalente (Re) e la corrente di linea (I_{Tot}) del circuito di **figura 7**, se R_1 è eguale a 6 ohm, R_2 è eguale a 12 ohm R_3 eguale a 18 ohm. Avremo:

$$\frac{1}{Re} = \frac{1}{6} + \frac{1}{12} + \frac{1}{18} = \frac{11}{36}$$

$$Re = \frac{36}{11} = 3{,}27 \text{ ohm}$$

Per ricavare la corrente avremo:

$$I_{Tot} = \frac{110 \text{ volt}}{3{,}27 \text{ ohm}} = 33{,}6 \text{ ampère}$$

Trovare la resistenza equivalente, sempre del circuito di figura 7 se R_1 è 12 ohm, R_2 è 15 ohm ed R_3 è di 20 ohm. Avremo:

$$\frac{1}{Re} = \frac{1}{12} + \frac{1}{15} + \frac{1}{20} = \frac{12}{60}$$

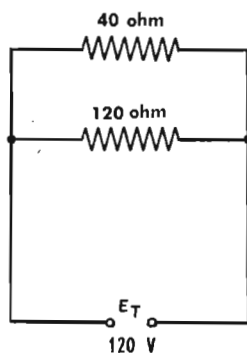



Fig. 8 — Un altro metodo per ricavare la resistenza equivalente di un circuito con resistenze in parallelo è quello dell'« equazione ». È utile quando gli elementi sono solo due. Il metodo deriva dal fatto che la resistenza equivalente di due resistenze in parallelo è pari al loro prodotto diviso per la loro somma.

$$Re = \frac{60}{12} = 5 \text{ ohm}$$

Metodo dell'equazione.

La resistenza equivalente di un circuito a due rami viene calcolata rapidamente mediante una formula derivante dalla equazione già vista, nel modo che segue. Poichè

$$\frac{1}{Re} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

si ha

$$Re = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

ossia **la resistenza equivalente di due resistenze in parallelo è eguale al loro prodotto diviso per la loro somma.**

Ecco un esempio di impiego. Trovare la resistenza equivalente e la corrente di ogni ramo di un circuito formato da due resistenze in parallelo di cui una da 40 ohm e l'altra da 120 ohm (**figura 8**). La tensione applicata è di 120 volt.

$$\text{Resistenza equivalente} = \frac{40 \times 120}{40 + 120} = 30 \text{ ohm}$$

$$\text{Corrente} \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; I_1 = \frac{120}{40} = 3 \text{ ampère}$$

$$\text{Corrente} \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; I_2 = \frac{120}{120} = 1 \text{ ampère}$$

Nel problema di cui sopra, si noti che, quando la corrente di linea entra in un nodo di due resistenze in parallelo, si divide tra i due rami in proporzione inversa rispetto alle loro resistenze, ossia la corrente minore scorre nella resistenza più alta, e viceversa.

Si può usare l'equazione ora esaminata, e cioè:

$$Re = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

anche per determinare la resistenza equivalente di un circuito a tre rami, considerando questi ultimi due alla volta.

Per trovare quindi la resistenza equivalente di 10, 20 e 30 ohm in parallelo si trova prima quella di 10 e 20 ohm, ossia

$$Re = \frac{10 \times 20}{10 + 20} = \frac{200}{30} = 6{,}67 \text{ ohm}$$

e quindi la resistenza di 6,67 ohm in parallelo a quella di 30 ohm, ossia

$$Re = \frac{6{,}67 \times 30}{6{,}67 + 30} = \frac{200}{36{,}7} = 5{,}45 \text{ ohm}$$

Una equazione per trovare la resistenza equivalente di tre resistenze in parallelo può essere derivata come segue.

Poichè

$$\frac{1}{Re} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

si ha

$$Re = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1R_2 + R_1R_3 + R_2R_3}$$

Questo metodo non è però molto utile nei circuiti con più di tre rami, poichè, come si vede, esso comporta molti calcoli aritmetici.

Metodo della tensione fittizia.

Il metodo più indicato da seguire per determinare la resistenza equivalente di un circuito in parallelo — e per trovare tutti i valori incogniti — dipende in gran parte dei valori noti a disposizione.

Un sistema semplice, molto utile per coloro che usano il regolo calcolatore, è quello della tensione fittizie, per determinare *Re* (resistenza equivalente) quando si ignora l'ammontare della tensione applicata.

Sappiamo già che la base della risoluzione dei circuiti in parallelo consiste nell'addizionare le varie correnti per ottenere la corrente di linea, e nel dividere il potenziale per tale valore onde ottenere *Re*.

Normalmente, la resistenza di un circuito è costante e dipende essenzialmente dai suoi componenti: se si

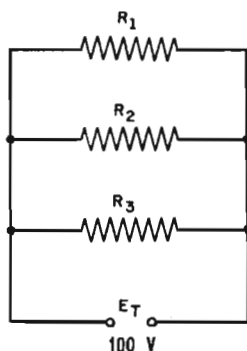



Fig. 9 — Un terzo metodo, infine, per ricavare la resistenza equivalente di un circuito in parallelo è quello detto della « tensione fittizia ». Si prende a base una tensione qualsiasi (meglio se a fattore 10 o multiplo di 10) e con essa — applicando la legge di Ohm per ogni ramo — si ricavano le correnti che, sommate, serviranno per ottenere « Re ».

varia la tensione applicata, la corrente varia contemporaneamente, ma non la resistenza. Per questo motivo è possibile stabilire una tensione (fittizia) ed individuare, col suo impiego, le varie correnti che si otterrebbero qualora essa venisse applicata al circuito. Il rapporto tra la tensione fittizia e la corrente di linea equivale ad *Re*, resistenza equivalente.

Qualunque potenziale può essere assunto a tale scopo, e chi usa il regolo con una certa esperienza, troverà questo metodo molto comodo specie assumendo come valore di tensione il fattore 10 o un suo multiplo; inoltre, allo scopo di evitare cifre decimali, si può stabilire un valore tale che la corrente che passa attraverso il ramo in cui la resistenza è maggiore, sia compresa tra 1 e 10 ampère.

E' ovvio che le correnti degli altri rami risulteranno maggiori.

Esempio: tre resistenze, R_1 di 15 ohm, R_2 di 20 ed R_3 di 30 sono collegate in parallelo (**figura 9**): trovare la resistenza equivalente.

Assunto il valore di 100 per la tensione fittizia, si ha:

$$I_1 = \frac{\text{Tensione fittizia}}{R_1} = \frac{100}{15} = 6{,}67 \text{ ampère}$$

$$I_2 = \frac{\text{Tensione fittizia}}{R_2} = \frac{100}{20} = 5 \text{ ampère}$$

$$I_3 = \frac{\text{Tensione fittizia}}{R_3} = \frac{100}{30} = 3{,}33 \text{ ampère}$$

$$I_{Totale} = 6{,}67 + 5 + 3{,}33 = 15 \text{ ampère}$$

$$Re = \frac{\text{Tensione fittizia}}{I_{Totale}} = \frac{100}{15} = 6{,}67 \text{ ohm}$$

Se non si usa il regolo, un'alternativa del metodo consiste nello stabilire una tensione fittizia numericamente eguale al valore della resistenza maggiore.

Nell'esempio precedente, infatti, se si stabilisce la tensione di 30 volt (pari ai 30 ohm della maggiore resistenza), si sa che la corrente attraverso R_3 è di 1 ampère e che quella degli altri due rami è maggiore di 1 ampère. Il problema può essere sviluppato con tale valore di tensione per controllare il valore *Re* ottenuto precedentemente.

ANALISI di un CIRCUITO in PARALLELO

L'aggiunta o la sottrazione di un componente ad un circuito in parallelo provoca una variazione nella corrente di linea, ma non nel potenziale applicato; l'unico limite al numero dei rami è la portata massima di corrente da parte della linea, nonchè il carico massimo che la sorgente può sopportare.

Poichè sono ben pochi gli inconvenienti caratteristici dei circuiti in serie riscontrabili in quelli in parallelo, il sistema è particolarmente adatto per la distribuzione dell'energia elettrica.

Se un impianto elettrico fosse del tipo in serie, tutti i dispositivi elettrici dovrebbero essere azionati o spenti contemporaneamente, mentre in un circuito in parallelo, qualsiasi apparecchio elettrico può essere collegato alla linea o tolto dal circuito senza influire sul funzionamento degli altri. Inoltre, se collegati in serie, tutti gli apparecchi dovrebbero funzionare con la medesima corrente, mentre nel collegamento in parallelo si può alimentare un amplificatore che consumi 1 ampère e contemporaneamente un piccolo ricevitore radio il cui assorbimento sia di soli 0,25 ampère.

Se uno degli apparecchi brucia, e conseguentemente il suo circuito rimane aperto, ciò non paralizza il funzionamento degli altri apparecchi collegati alla medesima sorgente.

Per finire, nemmeno un cortocircuito in un apparecchio potrebbe costituire un pericolo per gli altri collegati in parallelo, pur variandone il funzionamento, a volte interrompendolo addirittura a causa del sovraccarico imposto alla linea. Quest'ultima normalmente è protetta da tale eventualità a mezzo di dispositivi di sicurezza detti « fusibili », o valvole di interruzione, le quali fondono, interrompendo il circuito, se vengono attraversate da una corrente superiore a quella che devono sopportare in condizioni normali di funzionamento, e, oltre a proteggere la linea, segnalano l'inconveniente all'utente che può così intervenire e provvedere in merito.

La potenza dissipata in un circuito in parallelo.

Come nei circuiti in serie, l'equazione della potenza di un circuito in parallelo può essere derivata dalla

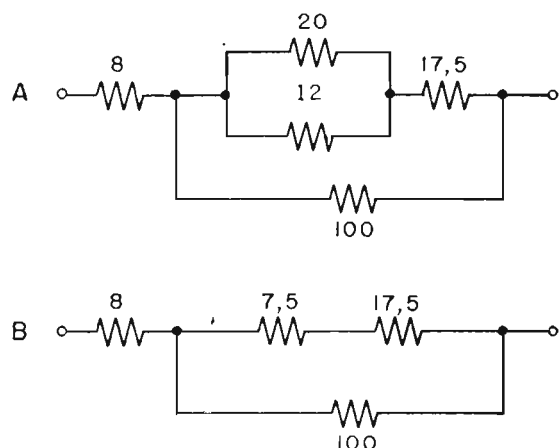
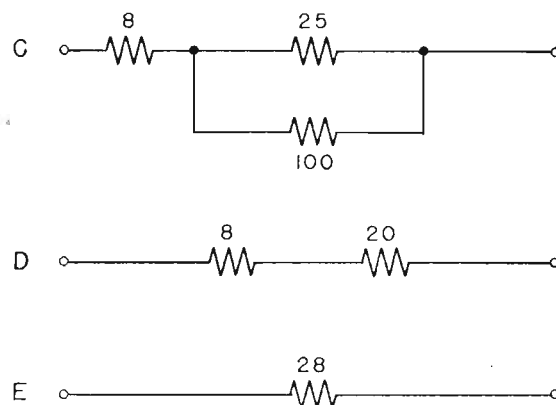



Fig 10 — Circuito misto e successivi passaggi del calcolo per ottenere « Re ».

legge di Ohm. La potenza dissipata in un circuito è eguale alla somma delle potenze dissipate nei vari rami, come segue:

$$P_{Totale} = P_1 + P_2 + P_3$$

Se si conosce la tensione di alimentazione e la corrente di linea, si può usare la seguente equazione:

$$P_{Totale} = E_T I_T$$

Se si conosce la corrente di linea e la resistenza equivalente, l'equazione è:

$$P_{Totale} = I^2_T \times Re$$

Se si conosce la tensione di alimentazione e la resistenza equivalente invece si ha:

$$P_{Totale} = \frac{E^2_T}{Re}$$

CONFRONTO tra CIRCUITI in SERIE e CIRCUITI in PARALLELO

	CIRCUITO	
	Serie	Parallelo
Corrente	$I_t = I_1 = I_2 = I_3 = ...$	$I_t = I_1 + I_2 + I_3 + ...$
Tensione	$E_t = E_1 + E_2 + E_3 + ...$	$E_t = E_1 = E_2 = E_3 = ...$
Resistenza	$R_e = R_1 + R_2 + R_3 + ...$	$R_e = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + ...}$

TABELLA 36 —

La Tabellina a lato, riassume le differenze dei rapporti tra tensione, corrente e resistenza nei due tipi di circuiti; è opportuno impararla a memoria onde non incontrare difficoltà con i circuiti più complessi di cui parleremo in seguito.

CIRCUITI SERIE-PARALLELO

Questo tipo di circuito non è che una combinazione dei due di cui abbiamo parlato precedentemente, e, per risolvere i problemi che gli si riferiscono, logicamente vanno utilizzati i principi di entrambi.

Ricordiamo che qualsiasi numero di resistenze in serie può essere sostituito da una sola resistenza avente un valore pari alla somma di tutti gli altri, e che qualsiasi numero di resistenze in parallelo può essere sostituito da una sola resistenza avente un valore pari al valore reciproco della somma dei reciproci delle varie resistenze.

Ad esempio, determiniamo il valore del circuito di **figura 10A.** Le due resistenze, rispettivamente di 20 e 12 ohm in parallelo, possono essere sostituite dal valore di 7,5 ohm come esposto nella sezione **B** della figura stessa; quindi, i due valori di 7,5 e 17,5 ohm, in serie, possono essere sostituiti dalla loro somma che corrisponde a 25 ohm, come si vede nella sezione **C.** Continuando, i due valori di 25 e 100 ohm in parallelo vengono sostituiti da quello equivalente di 20 ohm della sezione **D,** ed in sezione **E** abbiamo la resistenza di 28 ohm (8 e 20 ohm in serie) equivalente a quella dell'intero circuito della sezione **A.**

In pratica, il circuito misto serie-parallelo è quello che si incontra nella maggior parte dei casi; nella risoluzione, è necessario ridisegnarlo e semplificarlo.

Nella lezione teorica del prossimo fascicolo ci occuperemo in modo più analitico dei circuiti serie-parallelo che, in effetti, non possiamo più definire circuiti semplici e che perciò analizzeremo sotto la voce di circuiti complessi.

GLI STRUMENTI di MISURA

Ad un tecnico può presentarsi la necessità di progettare ricevitori, trasmettitori, ecc., mettere in funzione apparecchiature nuove, assumere la loro manutenzione onde assicurarne il funzionamento continuo o, infine, riparare complessi elettronici che abbiano subito guasti; a tale scopo sono disponibili vari strumenti di prova (**figura 1**) atti ad aiutarlo efficacemente nella sua attività.

Per collaudare e porre in funzione un complesso elettronico, e per controllarne la costanza di funzionamento, il tecnico si serve di apparecchi speciali che prendono il nome di generatori di segnali, voltmetri, misuratori di frequenza e misuratori di uscita ecc., e che impareremo man mano a conoscere.

Per contro, allorchè si verifica un guasto, sono i multimetri o misuratori multipli o « tester », i voltmetri elettronici o voltmetri a valvola, i « signal tracers » (apparecchi atti a rivelare la presenza di segnali elettrici trasformandoli in suoni o in tensioni o in correnti che possono essere misurate con altro strumento), i prova-valvola ed altri dispositivi che forniscono un aiuto considerevole per localizzare rapidamente il guasto.

Poichè il tecnico deve comprendere perfettamente come tali apparecchiature funzionino e come debbano essere usate correttamente, in queste prime lezioni del Corso diremo anzitutto dei più correnti strumenti di misura o strumenti indicatori che sono tra i componenti più importanti — se non i più importanti decisamente — di molte apparecchiature di misura.

Ciò che segue è pertanto una necessaria esposizione del funzionamento dei differenti tipi di strumenti « ad indice », adottati correntemente negli apparecchi di misura propriamene detti: questi ultimi saranno poi oggetto di descrizioni dettagliate, che metteranno il lettore in grado di costruire da sè stesso i tipi principali, vale a dire quelli di più frequente impiego.

PRINCIPI di FUNZIONAMENTO degli STRUMENTI

Gli strumenti vengono usati per misurare quantità elettriche; alcuni misurano la tensione, altri la corrente, altri la resistenza, ed altri ancora possono effettuare tutte e tre le misure. Altri tipi di strumenti misurano invece la potenza, la capacità, l'induttanza o altre entità elettriche. Qualunque sia la quantità elettrica che lo strumento deve misurare, *il suo funzionamento* (salvo qualche eccezione), *è in funzione della corrente che lo attraversa.*

Misuratori di corrente. Poichè gli strumenti non possono indicare alcuna lettura a meno che non vengano percorsi da corrente, potrebbe sembrare a prima vista che essi siano utili solo per la misura di corrente, ma ciò non corrisponde alla realtà, in quanto il circuito di uno strumento può essere modificato e tarato in modo tale da effettuare misure di quasi tutte le unità elettriche basilari. Ad esempio, uno strumento può essere utilizzato per misurare tensioni anche se esso dà letture solo a causa della corrente che lo attraversa, e ciò può accadere in quanto, come sappiamo, detta corrente varia in proporzione esatta rispetto alla tensione applicata al circuito (*legge di Ohm*), per cui il quadrante dello strumento può essere tarato in volt invece che in ampère. Inoltre, poichè l'ammontare della resistenza di un circuito influisce direttamente sulla quantità di corrente che lo percorre — se lo si desidera — la scala o quadrante dello strumento può essere calibrata in unità di resistenza invece che in unità di corrente o di tensione.

Conseguenze di un flusso di corrente. Il passaggio di una corrente in un conduttore determina due fenomeni principali, *l'elettromagnetismo* ed il *calore*, i quali, vengono utilizzati per il funzionamento degli strumenti.

1) Il lettore sa già che, quando una corrente scorre attraverso una bobina, si ha un *elettromagnete,* si produce cioè attorno e all'interno della bobina, un *campo magnetico* che è direttamente proporzionale all'intensità della corrente; ora, la forza di questo campo magnetico può essere usata in differenti modi per indicare l'ammontare della corrente che scorre nella bobina stessa. Tre tipi fondamentali di strumenti sono basati sull'elettromagnetismo: gli strumenti a **ferro mobile**, gli strumenti **a bobina mobile**, e **i dinamometri.**

2) Quando la corrente scorre in un conduttore, si produce un altro fenomeno di cui è stato già detto; si genera cioè un calore la cui intensità è direttamente proporzionale all'intensità della corrente stessa; ne consegue che la quantità di calore che si sviluppa può essere utilizzata per indicare detta corrente. Gli strumenti basati su questo principio sono detti « misuratori termici », ed i due tipi principali sono gli amperometri **a filo caldo** e gli strumenti a **termocoppia**.

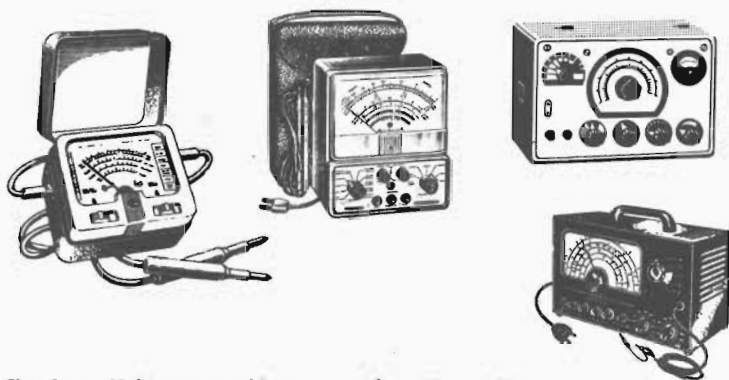



Fig. 1 — Molte apparecchiature agevolano il compito del radiotecnico: alcune sono portatili, altre fisse, da laboratorio.

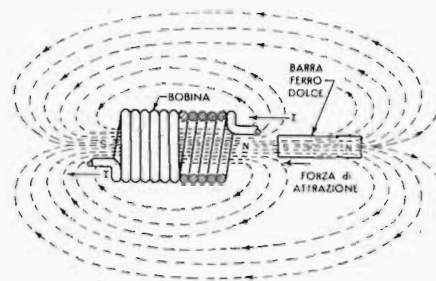



Fig. 2 — Se una barra di ferro dolce viene posta nelle vicinanze di un elettromagnete, essa si magnetizza a sua volta e viene attratta all'interno della bobina.

MISURATORI ELETTROMAGNETICI

Strumenti a ferro mobile.

Sappiamo che se una barra di ferro dolce viene posta in prossimità di un elettromagnete, essa si magnetizza a sua volta (**figura 2**); le molecole si allineano, e le linee di forza presenti nella barra si dispongono nella medesima direzione di quelle provenienti dall'elettromagnete. Poichè le linee di forza si comportano in certo qual modo come fossero strisce di gomma tese ed allungate, esse tendono ad accorciarsi, per cui la barra di ferro dolce viene attratta verso l'elettromagnete, e — nel caso in cui la bobina sia fissa e la barra risulti libera di muoversi — la barra viene attirata all'interno della bobina.

Se la corrente che attraversa la bobina inverte la sua direzione, l'inversione viene seguita dalle molecole del ferro; le linee di forza invertite della barra si allineano nuovamente rispetto a quelle provenienti dalla bobina, e si verifica ancora la medesima forza di attrazione.

Da ciò si deduce che la barra di ferro viene attratta dalla bobina sia che questa venga percorsa da corrente continua come da una corrente che inverta, anche con notevole frequenza, il suo senso; quest'ultimo tipo di corrente, che impareremo presto a conoscere, è quello noto con il nome di *corrente alternata*. Il ferro dolce viene usato unicamente in quanto la sua magnetizzazione cessa non appena cessa la corrente nell'elettromagnete. Vi sono due tipi di strumento a ferro momobile: il tipo a stantuffo ed il tipo a repulsione con aletta mobile.

Tipo a stantuffo. La barra mobile di ferro dolce, opportunamente collegata ad un indice, viene posta in modo da trovarsi parzialmente introdotta in una bobina fissa (**figura 3**); il complesso formato dalla barra e dall'indice è reso solidale con un perno *A*. Come abbiamo detto, quando una corrente scorre attraverso una bobina, si produce un campo magnetico grazie al quale la barra di ferro dolce si magnetizza e subisce una forza di attrazione che la porta all'interno della bobina stessa; tale movimento provoca, in questo caso, uno spostamento dell'indice, di un ammontare che risulta direttamente proporzionale all'intensità del campo magnetico. L'intensità, a sua volta, è in relazione alla quantità di corrente che scorre attraverso la bobina. Il tipo a stuntuffo è uno degli strumenti usati al nascere della tecnica dell'elettrologia per effettuare misure di corrente: attualmente è superato in seguito allo sviluppo di altri dispositivi di maggior precisione.

Tipo a repulsione ad aletta mobile. Questo tipo, come il precedente, è basato sulla magnetizzazione di una barra di ferro dolce provocata da un elettromagnete. La differenza sta nel fatto che si usano qui due barre invece di una sola, ed entrambe sono alloggiate internamente alla bobina. Quando quest'ultima viene percorsa da corrente, le due barre vengono magnetizzate con la medesima polarità (**figura 4**), e, poichè i poli analoghi si respingono, esse sono costrette ad allontanarsi l'una dall'altra. Se la corrente si inverte, anche la polarità magnetica delle barre subisce la medesima inversione, per cui la forza che ne determina l'allontanamento continua a manifestarsi con la medesima intensità.

Se una delle due barrette è fissa, mentre l'altra è libera di muoversi, si può collegare meccanicamente un indice a quest'ultima, in modo che la forza di repulsione manifestantesi indichi indirettamente l'ammontare della corrente.

Vi sono due tipi di strumenti basati sul principio della repulsione: il tipo ad alette radiali, e quello ad alette concentriche.

Nel primo tipo, all'interno della bobina si trovano due alette rettangolari, (**figura 5**), una delle quali è fissa, mentre l'altra — collegata ad un indice — è libera di ruotare su di un perno. Quando la bobina è percorsa da corrente, le due alette si magnetizzano e si respingono a vicenda, per cui quella mobile si allontana da quella fissa spostando contemporaneamente l'indice il quale, a sua volta, indica su una scala l'ammontare della corrente che percorre la bobina.

Il secondo tipo funziona col medesimo principio, e viene definito « concentrico » in quanto le alette semicircolari sono alloggiate una internamente all'altra (**figura 6**). Anche qui una di esse è fissa, mentre l'altra, collegata ad un indice, è libera di ruotare su di un perno.

Sebbene entrambi questi strumenti — detti a re-

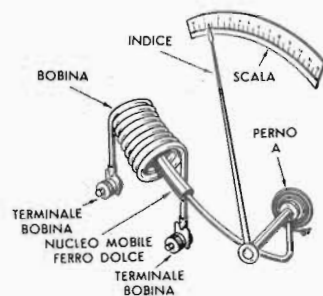



Fig. 3 — Avviando corrente alla bobina, la barra di ferro dolce viene attratta e l'indice compie sulla scala un movimento proporzionale alla corrente.

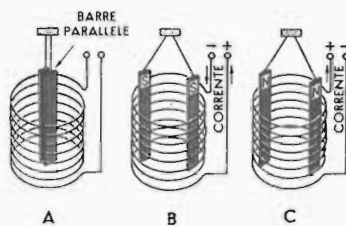



Fig. 4 — Le due alette di ferro dolce, poste all'interno della bobina si allontanano quando circola corrente, anche se il senso di quest'ultima si inverte.

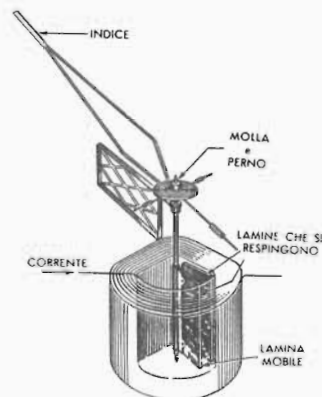



Fig. 5 — Una aletta è fissa; quella mobile è dotata di indice. Tipo ad alette radiali.

pulsione — siano adatti a misurare sia correnti continue che correnti alternate, essi vengono usati generalmente per misure a corrente alternata a frequenza (cioè, inversione di polarità) bassa (frequenza indudriale delle reti di distribuzione dell'energia elettrica pari, quasi sempre a 50 volte al secondo).

Strumenti a bobina mobile.

La maggior parte degli strumenti usati dai tecnici è basata sul sistema detto « a bobina mobile ». Tali strumenti sono costituiti da un avvolgimento di filo molto sottile supportato da un piccolo telaio di alluminio, immerso nel campo di un magnete permanente (**figura 7**). La bobina è sospesa su perni fissati su due lati opposti del telaio, in modo che questo sia libero di muoversi in senso rotatorio, mentre due molle a spirale controllano gli spostamenti angolari dell'indice.

Quando la bobina del telaio viene percorsa da corrente produce un campo magnetico, la cui polarità è tale da provocare una forza di repulsione rispetto alla polarità del vicino magnete permanente: a causa di ciò, essa ruota sui suoi perni spostando contemporaneamente l'indice il quale indica così su una scala l'ammontare della corrente che scorre.

La sensibilità di questo tipo di strumento può essere molto spinta, al punto tale che anche *una frazione di microampère* può determinare già uno spostamento dell'indice lungo la scala graduata.

Se la posizione di riposo dell'indice ed il punto della scala corrispondente allo zero vengono posti in centro alla scala, lo strumento può essere utilizzato per effettuare misure molto precise di resistenza, e di altri valori elettrici, facendo parte di speciali apparecchiature complesse dette *ponti di misura*. Lo strumento può essere inoltre modificato per effettuare varie misure di corrente continua, e, collegandolo opportunamente ad un dispositivo detto « raddrizzatore », può essere utilizzato per misure di corrente rettificata o raddrizzata, ossia per misure, in definitiva, in corrente alternata di cui — come abbiamo detto — ci occuperemo tra breve.

Grazie alla sensibilità ed alla precisione di questo strumento, nonchè alla sua possibilità di utilizzazione per la misura di tensioni e correnti continue, di tensioni e correnti alternate e di resistenze, esso viene invariabilmente usato per la realizzazione dei **multimetri** o « **tester** » i quali non sono che una combinazione di misuratori di tensioni, correnti e resistenze.

Infine, questo tipo di indicatore viene impiegato per la costruzione dei cosiddetti voltmetri elettronici, comunemente detti *voltmetri a valvola*, e si può affermare che esso è, senza dubbio, il tipo di strumento più importante nella radiotecnica e nelle attività inerenti.

Dinamometro. Il dinamometro o *wattmetro* è basato sul principio della repulsione magnetica tra due o più campi magnetici. Quando viene realizzato mediante l'impiego di due bobine, una di essa è fissa mentre l'altra, collegata ed un indice, è libera di muoversi su perni in senso rotatorio. La corrente scorre in entrambe le bobine producendo due campi magnetici, e la bobina mobile, collegata all' indice, viene respinta dai poli analoghi della bobina fissa: si sposta, ruotando su se stessa e determinando così lo spostamento dell'indice. Questo strumento può misurare tensioni, correnti e potenze, sia in corrente alternata che in corrente continua, sebbene venga comunemente usato per effettuare misure di potenza in watt (**figura 8**).

Quando il dinamometro viene usato come wattmetro è costituito da due bobine fisse avvolte con molte spire di filo sottile, aventi un'alta resistenza, collegate in parallelo alla sorgente di tensione che alimenta il circuito; una terza bobina, però mobile e a bassa resistenza, viene collegata in serie a detta tensione, in modo che venga percorsa da tutta la corrente che scorre nell'intero circuito. Il complesso costituito dalla bobina mobile a bassa resistenza e dall'indice, ruota su se stesso determinando uno spostamento di quest'ultimo proporzionale all'intensità risultante dalla combinazione dei due campi magnetici. In tal modo lo spostamento angolare è proporzionale sia alla corrente che alla tensione presenti nel circuito, e poichè anche la potenza è proporzionale ad entrambe, la scala dello strumento può essere tarata direttamente in watt, vale a dire, in unità di potenza.

MISURATORI TERMICI

Amperometri a filo caldo.

Il calore generato dal passaggio di corrente in un conduttore fa sì che questo si dilati; negli amperometri

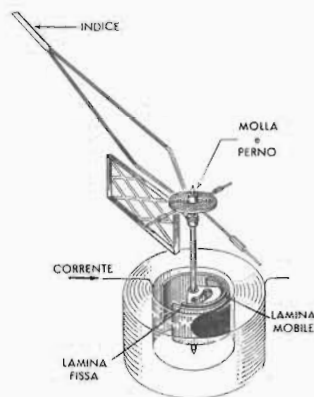



Fig. 6 — Alette concentriche: una è fissa ed una, con indice, è mobile.

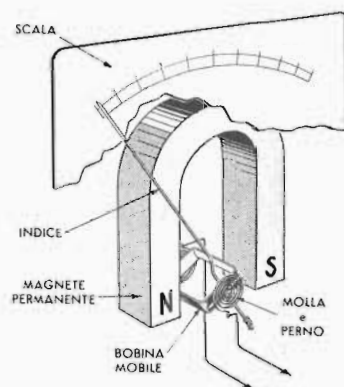



Fig. 7 — Strumento a « bobina mobile »; è il tipo più usato in radio.

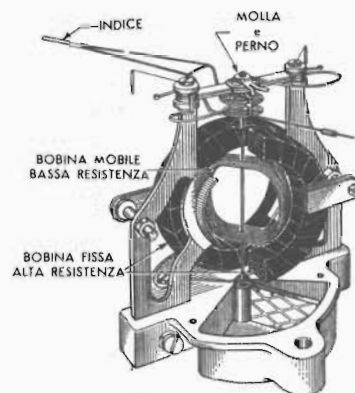



Fig. 8 — Dinamometro: si hanno due bobine, una fissa ed una mobile.

a filo caldo la dilatazione di detto conduttore — mediante opportuni collegamenti meccanici — determina lo spostamento di un indice il quale indica su una scala graduale, l'ammontare della corrente.

Lo strumento viene collegato in serie al carico mediante i terminali *A* e *B* (vedi **figura 9**), mentre all'interno dello strumento, il collegamento n. 1 si trova tra i due terminali. Il collegamento n. 2 invece è connesso al primo in prossimità del centro, e la sua tensione meccanica è controllata dalla apposita molla di tensione. Il filo n. 2 passa inoltre lungo la base arrotondata di un perno collegato ad un indice che ha il compito di determinare gli spostamenti angolari di quest'ultimo. Quando la corrente passa attraverso il filo n. 1, esso si scalda proporzionalmente alla quantità di corrente: maggiore è quest'ultima, maggiore è il calore che viene generato e quindi la dilatazione che ne consegue. Non appena il filo n. 1 si dilata allungandosi, esso viene tirato grazie alla tensione della molla attraverso il filo n. 2 il quale, per attrito, fa ruotare il perno determinando così lo spostamento dell'indice lungo la scala. L'indice è regolato in modo da indicare 0 in assenza di corrente, mediante la vite di regolazione che determina la tensione meccanica del filo n. 1.

Strumento a termocoppia.

Se un conduttore viene attraversato, ad esempio dalla corrente di 1 ampère, si produce una determinata quantità di calore, la quale è costante indipendentemente dal fatto che la corrente sia continua o alternata, e — in questo secondo caso — sia che la frequenza sia alta o bassa. Da ciò si deduce che l'effetto termico può essere utilizzato per misurare qualunque tipo di corrente. Gli strumenti a termocoppia vengono normalmente usati per misurare correnti ad Alta Frequenza, e sono di frequente impiego nei trasmettitori per il controllo della corrente di aereo ad Alta Frequenza o per la misura della potenza.

Gli elementi normalmente impiegati per la realizzazione di tali dispositivi sono la « costantana » ed il « platino », o una sua lega.

Lo strumento a termocoppia viene collegato in serie al circuito sotto prova, in modo che la corrente di questo passi attraverso il filo *A* dello strumento (vedi **figura 10**), il quale è collegato al punto di giunzione di due metalli differenti; questa striscia bimetallica costituisce la *termocoppia* propriamente detta. Essa ha la proprietà di generare una tensione a corrente continua quando il punto di unione dei due metalli diversi di cui è costituita viene riscaldato (vedi Lez. 14 pag. 110) la corrente porta il filo ad una certa temperatura che viene trasmessa alla termocoppia, la quale, a sua volta, genera una piccola tensione a corrente continua disponibile ai terminali *C* e *D*, proporzionalmente all'ammontare del calore. Entro i limiti della termocoppia, maggiore è la corrente che percorre il circuito, maggiore è la tensione generata.

Allo scopo di ottenere una certa insensibilità alle variazioni della temperatura ambiente — e di effettuare quindi misure il più possibile esatte — i lati liberi della termocoppia devono essere collegati al centro di due strisce di rame separate. In tal modo essi avranno costantemente la temperatura media delle estremità, e non quella della parte centrale dell'elemento riscaldante. I terminali delle due piattine di rame sono posti abbastanza in prossimità di quest'ultimo affinchè abbiano la medesima temperatura, ma sono da esso elettricamente isolati mediante sottili fogli di mica. Non appena la corrente passa, la temperatura al centro dell'elemento attivo diventa molto maggiore che non alle estremità, ossia in corrispondenza dei lati liberi della termocoppia. Per tale motivo questo tipo di strumento viene denominato « a compensazione termica ».

La tensione presente tra i punti *C* e *D* viene applicata ad un comune strumento a bobina mobile. E' opportuno rilevare che, allo scopo di riscaldare la termocoppia, il filo *A* può essere percorso, come si è detto, sia da corrente continua che da corrente alternata, ma che, qualunque sia il genere di corrente che passa attraverso detto filo per essere misurata, ai terminali liberi della termocoppia è presente soltanto una tensione a corrente continua. Lo strumento a termocoppia, da quanto si è visto sopra, può essere definito come una combinazione dei due principi di funzionamento precedentemente spiegati, ossia del principio termico e di quello elettromagnetico.

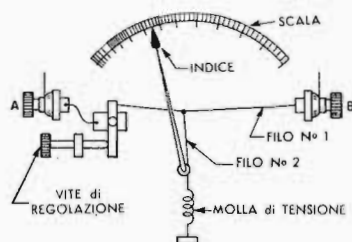



Fig. 9 — Misuratore di corrente per effetto termico, detto appunto a « filo caldo ». Il filo N. 1 si dilata, viene tirato dal filo N. 2, grazie alla molla, e quest'ultimo, agendo sull'indice, lo sposta in proporzione alla dilatazione, cioè a dire alla corrente tra « A » e « B ».

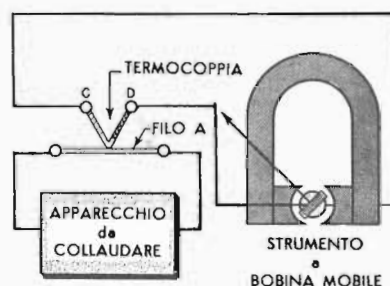



Fig. 10 — Misuratore a « termocoppia ». La corrente da misurare passa nel filo « A », riscalda il filo e quindi la coppia bimetallica. Ai capi di quest'ultima (tra C e D) si forma una corrente continua che viene letta dallo strumento a bobina mobile.

CONSIDERAZIONI GENERALI

Gli strumenti descritti possono essere utilizzati per misurare sia correnti alternate che correnti continue, modificando il circuito dello strumento e tarando opportunamente la scala graduata a seconda delle unità desiderate. I tipi a repulsione o ad aletta mobile o noti anche come tipi a « ferro mobile » vengono comunemente usati per le misure in corrente alternata. Gli strumenti a termocoppia vengono invece usati, in radio, esclusivamente per le misure a radiofrequenza; gli strumenti a bobina mobile possono essere impiegati per quasi tutti i tipi di misure. La descrizione dettagliata di questi strumenti che seguirà, prende in esame i vantaggi e le limitazioni di ciascuno di essi.

Circa le caratteristiche degli strumenti ecco intanto un cenno generico:

1) *Precisione.* Alcuni strumenti sono per loro natura notevolmente più precisi di altri.

2) *Influenza sulle condizioni di funzionamento del circuito.* Alcuni strumenti, allorchè vengono collegati in un circuito allo scopo di effettuare misure, ne alterano le condizioni; le variazioni causate dallo strumento allora, fanno sì che le misurazioni stesse non siano rigorosamente esatte. Altri strumenti invece, non hanno praticamente effetti apprezzabili nei confronti del circuito, perciò permettono misure più accurate e più esatte.

3) *Vari tipi di scale.* In alcuni strumenti le scale sono lineari, (ossia con intervalli regolari tra i numeri) mentre in altri si usano scale non lineari.

Il tecnico, in base a quanto esposto, può individuare il tipo più adatto di strumento per un dato scopo; in caso di emergenza, potrà anche modificare il tipo a sua disposizione onde adattarlo alle particolari necessità.

STRUMENTI per TENSIONI e CORRENTI CONTINUE

Equipaggio mobile D'Arsonval.

Lo strumento usato più comunemente in radiotecnica è il tipo a bobina mobile, preferito per la sua precisione, per la sua stabilità e per la linearità delle scale. Nel 1882 A. D'Arsonval, adottando il principio della bobina mobile, sviluppò un tipo di galvanometro, strumento adatto alla misura di correnti molto deboli. Sei anni dopo, E. Weston modificò notevolmente il progetto allo scopo di rendere questo tipo di strumento facilmente portatile; il principio basilare è però ancora noto come equipaggio D'Arsonval.

Costruzione.

Lo strumento a bobina mobile adotta un magnete permanente del tipo a ferro di cavallo, con espansioni polari in ferro dolce fissate alle sue estremità (**figura 11** sez. **A**).

Il magnete permanente presenta, tra le espansioni polari, un campo magnetico non uniforme, non adatto al funzionamento dello strumento, per cui tra dette espansioni viene posto un corpo cilindrico di ferro dolce che, oltre a rendere uniforme il campo in tutto lo spazio presente tra le espansioni, contribuisce alla conservazione del magnetismo del magnete stesso in quanto agisce come un accentratore di energia magnetica.

La bobina mobile consiste di diverse spire di filo sottile avvolte su un telaio di alluminio di forma rettangolare, (**figura 11** sez. **B**), e poichè essa deve essere leggera ed in grado di muoversi liberamente, è possibile avvolgere intorno al telaio solo un limitato numero di spire. La sottigliezza del filo permette il passaggio solo di piccole entità di corrente attraverso la bobina, quantità che variano a seconda dei modelli. Comunque, data la sensibilità, bastano in genere correnti molto deboli per provocare lo spostamento dell'indice lungo tutta la scala graduata.

L'intera bobina è alloggiata nel traferro presente tra le espansioni polari del magnete permanente ed il nucleo cilindrico di ferro dolce. Nei punti del telaio in cui sono fissate le molle a spirale, si trovano due perni di acciaio temperato, a loro volta appoggiati su piccoli rubini, in modo tale che bobina sia in grado di ruotare con un minimo di attrito (**figura 11** sez **C**).

L'indice è meccanicamente collegato alla bobina mobile e si sposta contemporaneamente ad essa; per bilanciare il peso dell'indice rispetto ai perni, si usano dei piccoli contrappesi.

I capi della bobina sono collegati ognuno ad una molla posta in corrispondenza di ciascun lato del telaio.

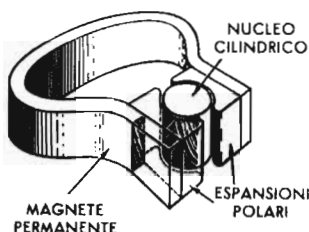



Fig. 11A — Nel classico strumento a bobina mobile si ha anzitutto un magnete permanente a ferro di cavallo con espansioni polari in ferro dolce: tra di esse è inserito un nucleo che accentra ed uniforma il flusso.

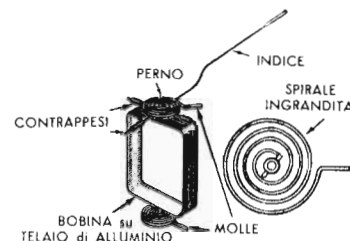



Fig. 11B — La bobina mobile è formata da diverse spire di filo sottile avvolte su un telaio di alluminio che può ruotare su due perni. Due molle a spirale frenano il movimento e provocano il ritorno alla posizione di partenza quando cessa la corrente.

Le parti terminali delle molle sono in comunicazione col circuito esterno, dal quale viene prelevata la corrente che attraversa la bobina. Una vite posta sulla parte superiore dell'equipaggio mobile permette di regolare, in assenza di corrente, la posizione di riposo dell'indice in corrispondenza del punto «zero» della scala graduata (**figura 11** sez. **D**).

Sistemi basilari di funzionamento.

Lo strumento a bobina mobile implica nel suo funzionamento tre sistemi basilari:

Sistema motore. L'indice — sappiamo — ha il compito di indicare l'ammontare della corrente che attraversa lo strumento. Ciò si ottiene grazie al sistema motore. Quando la corrente continua percorre la bobina, nel senso stabilito, essa produce un campo magnetico, a causa del quale viene respinta dal magnete permanente. Quindi, come già è stato spiegato, l'indice, che segue la bobina nel suo movimento, permette una lettura sulla scala graduata, a seconda della quantità di corrente che scorre nella bobina. Maggiore è la corrente, maggiore è il campo magnetico, e di conseguenza più intensa è la repulsione e quindi lo spostamento del complesso formato dalla bobina e dall'indice.

Se però la corrente attraversa la bobina in direzione opposta, si produce un campo magnetico opposto al precedente, e la bobina viene spinta nell'altro senso. In conseguenza, l'indice si sposta in senso contrario urtando contro il piccolo perno di arresto a sinistra, invece di spostarsi a destra verso la scala. Appare evidente da ciò che la corrente da misurare deve essere *applicata* allo strumento *con la polarità corretta*, in modo cioè che la bobina faccia ruotare l'indice verso destra, fino al punto estremo detto **fondo scala** che non può essere oltrepassato data la presenza, anche da questo lato, di un perno d'arresto.

Sistema di controllo. L'indice deve indicare con precisione la quantità di corrente che attraversa la bobina, e ritornare a zero non appena lo strumento viene staccato dal circuito. Queste due operazioni dipendono dal sistema di controllo. Le due molle a spirale collegate alla bobina compiono appunto la funzione di controllo dello strumento perchè:

a) regolano l'entità della rotazione compiuta dalla bobina. Per questo motivo devono essere costruite con precisione affinchè lo strumento possa permettere misure precise.

b) fanno tornare la bobina e l'indice alla posizione di zero non appena la corrente cessa di scorrere.

c) permettono l'entrata e l'uscita della corrente dalla bobina.

d) sono avvolte in senso opposto tra loro onde compensare le variazioni di temperatura.

Quando la corrente scorre e la bobina ruota, una delle molle si avvolge mentre l'altra si svolge. Non appena lo strumento viene staccato dal circuito esterno cessa il passaggio di corrente; entrambe le spirali ritornano alla loro posizione normale riportando nuovamente l'indice in posizione 0. Per ottenere questo effetto non è necessario che le due spirali siano avvolte in senso opposto, ma il vantaggio di tale provvedimento sta, come si è accennato sopra, nella sua azione di compensazione allorchè si verificano variazioni di temperatura. Infatti, appena la temperatura varia, le molle a spirale o si dilatano o si restringono; se entrambe si dilatano (o si restringono), essendo avvolte in senso opposto, mentre una tende a spostare la bobina in un senso l'altra tende a spostarla in senso contrario. Le loro azioni pertanto si oppongono, gli effetti termici si nautralizzono a vicenda, essendo le molle di pari tensione, e l'indice rimane in posizione zero. Ciò evita la regolazione della posizione zero dello strumento ogni volta che si verifica una variazione di temperatura.

Normalmente le spirali sono realizzate in bronzo fosforoso antimagnetico, e presentano bassa resistenza al passaggio di corrente. Poichè sono formate da metallo buon conduttore, possono essere usate per portare la corrente tra bobina e circuito esterno. Gli strumenti a bobina mobile presentano infine, una vite di regolazione della posizione zero, la quale agisce meccanicamente su una delle due molle (**figura 11** sez. **D**), consentendo di variare leggermente la posizione della bobina, e quindi dell'indice. Se quest'ultimo non indica zero quando nessuna corrente percorre lo strumento, deve e può essere regolato mediante tale vite in modo da farlo coincidere prima di effettuare qualsiasi misura.

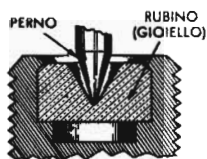



Fig. 11C — I perni — di acciaio temperato — poggiano su piccoli rubini in modo che la bobina sia in grado di ruotare con il minimo attrito.

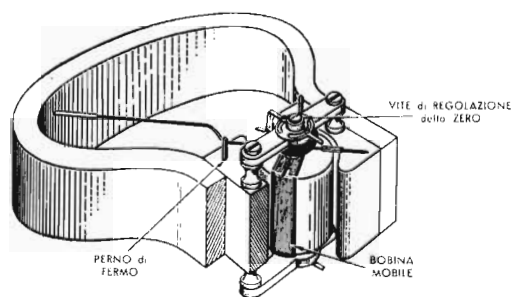



Fig. 11D — Le diverse parti sin qui esaminate, nel loro assieme di montaggio costituente l'intero strumento. Completano quest'ultimo una vite di regolazione dell'indice (piccoli spostamenti) per farlo coincidere con lo zero della scala, a riposo, e due perni d'arresto ai due lati estremi della corsa.

Sistema di smorzamento. L'indice deve pervenire e fermarsi prontamente al punto di lettura, senza oscillare. L'azione intrapresa per ottenere ciò viene definita smorzamento: i sistemi di smorzamento variano con i vari tipi di strumenti.

a) *Azione di smorzamento.* Scopo dello smorzamento è quello di permettere indicazioni rapide e corrette da parte dell'indice, senza che questi oscilli intorno al punto di lettura per un certo tempo, prima di fermarsi. La funzione dello smorzamento è analoga ad un'azione di freno nei confronti delle oscillazioni dell'indice. Nello strumento a bobina mobile questo effetto viene ottenuto normalmente in virtù del telaio di alluminio sul quale la bobina è avvolta. Non appena la bobina si sposta per registrare un passaggio di corrente, il telaio stesso sul quale è avvolta si comporta come una bobina costituita da un'unica spira in circuito chiuso; questa spira taglia le linee di forza magnetica del magnete permanente le quali inducono in essa una tensione. A causa di ciò, il telaio viene percorso da notevoli correnti parassite le quali, a loro volta, creano un campo magnetico circostante opposto a quello del magnete permanente. L'azione di frenatura che ne deriva rallenta il movimento della bobina.

Non appena la bobina si ferma, la tensione indotta nel telaio cessa, per cui non scorrono più le correnti parassite. Anche quando la bobina ritorna alla posizione zero, si ripete il fenomeno nel telaio di alluminio.

Ricapitolando, le correnti parassite indotte nel telaio creano un campo magnetico che si oppone a quello del magnete e frena l'azione delle molle a spirale, tendendo a portare — durante il movimento dell'equipaggio — la bobina, e perciò l'indice, verso la posizione opposta al movimento stesso.

b) *Smorzamento di un amperometro.* Quando lo strumento deve essere usato come amperometro, si collega in parallelo all'equipaggio mobile una resistenza di basso valore detta « **shunt** ». Poichè tale resistenza si trova in parallelo alla bobina mobile, la corrente scorre in entrambe. Non appena la bobina inizia la sua rotazione, la f.e.m. opposta che si genera in essa, come ora sappiamo, si oppone alla corrente originale e tende a neutralizzarla finchè la bobina si arresta. Tale forza indotta diminuisce gradatamente mentre la corrente che percorrere la bobina aumenta fino a raggiungere il suo valore normale, fino al punto cioè in cui la bobina si arresta. La corrente che percorre lo « shunt » varia instantaneamente per compensare le variazioni di corrente attraverso la prima. Non appena lo strumento viene staccato dal circuito esterno, la bobina inizia il suo ritorno verso la posizione di riposo, tagliando le linee di forza, per cui anche allora, come è stato detto, ai suoi capi si produce una tensione indotta. Poichè vi è lo « shunt » ai capi della bobina, una certa corrente scorre nel circuito bobina-shunt, producendo un campo magnetico che si oppone a quello del magnete permanente, costituendo così un freno anche nei confronti del movimento di ritorno a zero.

CARATTERISTICHE di uno STRUMENTO

Resistenza interna. La bobina di ciascun strumento ha un certo valore di resistenza alla corrente continua, valore che dipende dal numero delle spire e dalle dimensioni del filo con cui esse sono avvolte, nonchè dalle dimensioni della bobina stessa.

Quanto più numerose sono le spire che costituiscono la bobina, tanto minore è l'ammontare di corrente necessario per creare un campo magnetico abbastanza intenso da provocare la deflessione dell'indice sino al fondo scala.

Sensibilità dell'equipaggio mobile. La sensibilità dello strumento può essere definita in due modi: in relazione alla *quantità di corrente* necessaria per la deflessione fino al fondo scala, ed in relazione al *rapporto ohm per volt*.

L'ammontare della corrente necessaria per la completa deflessione dell'indice dipende dal numero delle spire della bobina, in quanto, come si è detto, più numerose esse sono, più intenso è il campo magnetico prodotto, e quindi minore è la corrente necessaria per raggiungere il fondo scala. Le sensibilità variano da 0,5 μA (microampère) fino a circa 50 mA (milliampère), e minore è la quantità di corrente necessaria per la completa deflessione, maggiore ovviamente è la sensibilità dello strumento.

La sensibilità in *ohm per volt* è determinata dall'ammontare della resistenza che deve essere collegata in serie allo strumento per determinare la completa

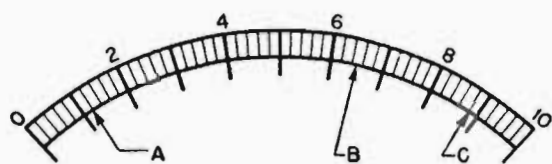



Fig. 12 — Quasi tutti gli strumenti a bobina mobile per misure in corrente continua sono provvisti di scala ad andamento lineare. Ciò significa che l'ammontare della deflessione è direttamente proporzionale alla corrente che scorre nella bobina.

Fig. 13 — La forma degli strumenti di misura ha subito evidenti cambiamenti; dal tipo tondo di una volta si è passati a quello odierno ad ampia scala. Per certi impieghi si hanno anche tipi a scala verticale.

deflessione quando si applica la tensione di 1 volt ai capi del circuito dello strumento stesso. Maggiore è la resistenza che deve essere applicata in serie allo strumento, maggiore è la sensibilità di quest'ultimo in ohm per volt. La *resistenza interna*, che può variare da una frazione di ohm a diverse centinaia di ohm, generalmente è abbastanza piccola da poter essere trascurata nei confronti della resistenza aggiuntiva: tuttavia, in alcuni tipi molto sensibili, che misurano pochi microampère fondo scala, la resistenza della bobina mobile è di qualche migliaio di ohm, per cui il suo valore non può più essere ritenuto trascurabile. La sensibilità e la resistenza interna sono caratteristiche proprie dell'equipaggio mobile, e non possono essere alterate a meno che non venga modificata opportunamente la costruzione dell'equipaggio stesso.

Precisione. Gli strumenti a bobina mobile costruiti per l'uso di laboratorio sono di alta precisione (dell'ordine dello 0,1 %): alcuni strumenti di precisione inferiore hanno tolleranza dello 0,5% circa. La precisione degli strumenti destinati ad usi generici è contenuta entro il 2%. Tale percentuale di precisione si riferisce esclusivamente al valore di lettura a fondo scala di ogni portata: ad esempio, se la tolleranza di uno strumento è contenuta entro il 2% su una portata massima di 500 volt, all'estremità della scala il valore letto avrà appunto una tolleranza del 2%, ossia corrisponderà a 500 volt ± 10 volt. Se, leggendo sulla medesima scala una tensione inferiore, l'errore fosse ancora di 10 volt, l'inesattezza risulterebbe maggiore del 2%; in realtà, invece, l'ammontare dell'errore diminuisce proporzionalmente rispetto allo spostamento dell'indice. Molti strumenti tuttavia, permettono una precisione lungo la scala graduata, maggiore di quella garantita. E' importante tener presente che la precisione nelle misure di tensioni e di correnti eseguite con uno strumento a bobina mobile, tende ad essere maggiore quando le misure vengono effettuate in modo che l'indice si porti in prossimità del fondo scala, a causa della maggiore comodità di lettura.

Ricordiamo infine che, quando uno strumento viene connesso ad un circuito, molte volte, per questo solo fatto nasce un particolare problema che si riferisce alla precisione: si hanno letture errate, non a causa dell'inesattezza dello strumento di per sè, bensì a causa delle variazioni apportate dallo strumento stesso alle caratteristiche del circuito e dovute alla corrente da esso stesso assorbita.

Caratteristiche della scala. La maggior parte degli strumenti a bobina mobile usati per le misure in corrente continua sono provvisti di scala lineare — con spazi eguali cioè, tra i numeri — simile a quella illustrata in **figura 12**. L'ammontare della deflessione è direttamente proporzionale alla quantità di corrente che scorre nella bobina, e quando tutta la corrente della portata la percorre, l'indice si trova a fondo scala. Quando la corrente che scorre nella bobina corrisponde alla metà della portata, l'indice si trova nel punto centrale della scala, e così via. Ad esempio, il punto *A* della scala corrisponde ad una lettura di 1,2; il punto *B* corrisponde a 6,5 ed il punto *C* a 8,8.

In merito alle scale non lineari diremo più avanti.

Come vedremo in seguito, gli strumenti a bobina mobile sono posti in commercio in varie dimensioni e con varie caratteristiche: esistono infatti strumenti da pannello, di dimensioni notevoli, che devono funzionare in posizione verticale, altri che devono invece funzionare in posizione orizzontale, ed altri ancora il cui indice è bilanciato in modo tale che la posizione di funzionamento non influenza la precisione se non in quantità del tutto trascurabile.

I tipi in uso fino a qualche anno fa erano generalmente di forma rotonda, con indice munito di punta a « freccia », e gli equipaggi in essi contenuti erano costituiti da grosse calamite ad anello. Oggi invece, sia per il progresso conseguito dal punto di vista estetico, sia per quello conseguito nel campo dei magneti permanenti, gli strumenti vengono realizzati e posti in commercio in forme per lo più rettangolari e con ampie scale per una comoda lettura. Gli equipaggi in essi contenuti utilizzano piccoli magneti permanenti in leghe speciali ad alto rendimento, che, in ridotte dimensioni, consentono di ottenere potenze che una volta potevano essere raggiunte solo con grosse e pesanti calamite.

Vedremo, nelle prossime lezioni, come gli strumenti a bobina mobile possano essere adattati, mediante l'impiego di altri componenti aventi determinate caratteristiche, a quasi tutti i tipi di misure che il tecnico deve correntemente effettuare nella sua attività di laboratorio.

SIMBOLI - ABBREVIAZIONI

E_T = Tensione totale

G_T = Conduttanza totale

I_T = Corrente totale

P_T = Potenza totale

Re = Resistenza equivalente

R_T = Resistenza totale

FORMULE

Tra due resistenze in parallelo

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}$$

oppure

$$R_T = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

In un circuito in parallelo

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 + \ldots\ldots$$

$$E_T = E_1 = E_2 = E_3 = \ldots\ldots$$

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots\ldots$$

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \ldots\ldots$$

In un circuito in serie

$$I_T = I_1 = I_2 = I_3 = \ldots\ldots$$

$$E_T = E_1 + E_2 + E_3 + \ldots\ldots$$

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots\ldots$$

$$G_T = G_1 + G_2 + G_3 + \ldots\ldots$$

SEGNI SCHEMATICI

 = Interruttore

= Termocoppia con elemento riscaldante isolato.

= Termocoppia con elemento riscaldante a contatto.

DOMANDE sulle LEZIONI 16ª e 17ª

N. 1 - Nominare le quattro unità di uso più comune nei circuiti elettrici.

N. 2 - Enunciare la formula che permette di determinare la corrente in funzione della tensione e della resistenza.

N. 3 - Se si aumenta da 100 a 150 ohm la resistenza presente ai capi di un potenziale costante di 150 volt, quale variazione subisce l'intensità di corrente?

N. 4 - Enunciare le formule che determinano:

a) La tensione in base alla corrente e alla resistenza.

b) La resistenza in funzione della tensione e della corrente.

N. 5 - Esprimere la potenza in funzione del lavoro e del tempo.

N. 6 - Esprimere la potenza in funzione di

a) Corrente e tensione.

b) Tensione e resistenza.

c) Corrente e resistenza.

N. 7 - Quale potenza viene dissipata da una resistenza da 20 ohm, percorsa da una corrente di 2 ampère?

N. 8 - Se si diminuisce da 400 a 200 ohm il valore di una resistenza collegata ai capi di una tensione costante di 100 volt, quale variazione subisce la potenza dissipata?

N. 9 - Possono tre resistenze in serie essere percorse da diverse intensità di corrente?

N. 10 - Possono due resistenze in parallelo tra loro avere ai loro capi due diverse differenze di potenziale?

N. 11 - Esprimere l'energia in funzione di

a) Corrente, tensione e tempo.

b) Tensione, resistenza e tempo.

c) Corrente, resistenza e tempo.

d) Coulomb e voltaggio (tensione).

N. 12 - Un apparecchio elettrico da 1.200 watt funziona con una tensione di 120 volt. A quanto ammonta la corrente?

N. 13 - Quanta energia in wattore viene fornita da un accumulatore da 6 volt che eroga 5 ampère per 8 ore?

N. 14 - Quale è la tensione presente ai capi di una resistenza da 50 ohm, se la potenza dissipata è di 250 watt?

N. 15 - Se una resistenza da 100 ohm dissipa 25 watt, quale è la corrente che la percorre?

N. 16 - Se si aumenta la tensione presente ai capi del filamento di una lampadina, la corrente aumenta proporzionalmente secondo la legge di Ohm?

N. 17 - Quale è la condizione necessaria affinchè un certo numero di lampadine possano essere collegate in serie?

N. 18 - Quale è la condizione necessaria affinchè un certo numero di lampadine possano essere collegate in parallelo?

RISPOSTE alle DOMANDE di Pag. 113

N. 1

Il magnetismo, ossia la sua attitudine ad attirare sostanze come il ferro, l'acciaio, il nichel, ecc.

N. 2 -

La forza è massima alle estremità e nulla al centro.

N. 3 -

Nelle linee immaginarie che costituiscono un circuito chiuso tra i poli, lungo il quale agisce la forza magnetica.

N. 4 -

Dal polo Nord.

N. 5 -

Un circuito completo, lungo il quale sussistono linee di forza create da un magnete.

N. 6 -

Il magnete è costituito da magnetite o da acciaio, o da speciali leghe che hanno in sè la forza magnetica. L'elettromagnete è un corpo di ferro dolce che si magnetizza a causa della corrente che scorre in un avvolgimento che lo circonda.

N. 7 -

Per contatto con altro magnete e per immersione in un campo magnetico.

N. 8

Il magnetismo che rimane in un elettromagnete, una volta cessata la corrente che lo ha prodotto.

N. 9 -

Sono orientati a caso. Si orientano tutti nel medesimo senso in seguito alla magnetizzazione.

N. 10 -

Gruppi di miliardi di atomi, i cui poli hanno eguale orientamento.

N. 11 -

$$B = \frac{\Phi}{A}$$

N. 12 -

In senso orario.

N. 13 -

Aumentando il numero delle spire o l'intensità della corrente, o ancora la permeabilità del nucleo.

N. 14 -

Schermandolo con un materiale magnetico.

N. 15 -

Una linea di forza.

N. 16 -

Magnetomeccanico, elettrostatico, termoelettrico, piezoelettrico, fotoelettrico e chimico.

N. 17 -

Lo statore, il rotore, gli avvolgimenti e le spazzole.

N. 18 -

Quattro: taglio X, Y, Z e AT.

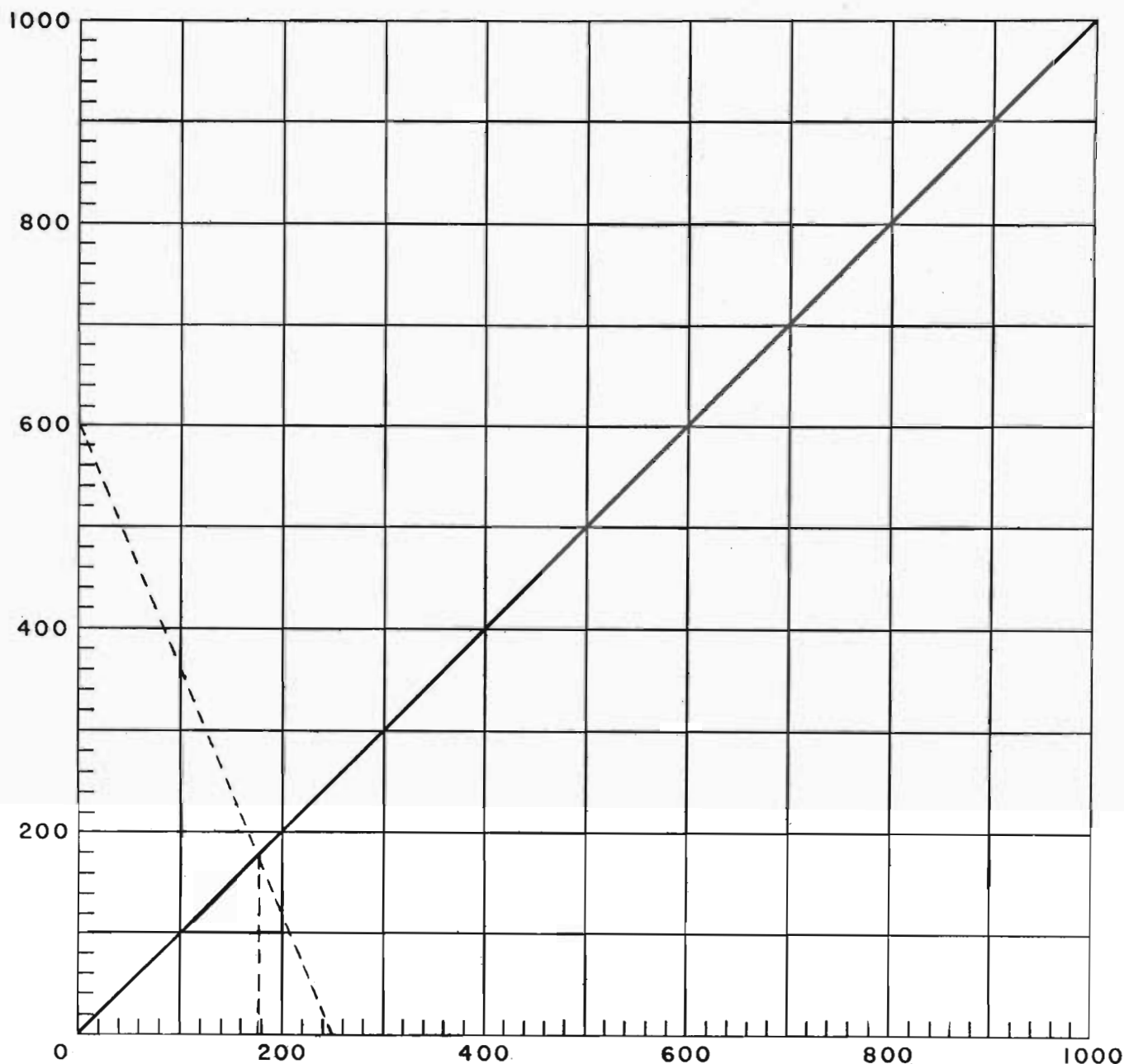
N. 19 -

Il taglio lungo l'asse AT poichè il coefficiente è quasi nullo.

N. 20 - Due: ad emissione e ad assorbimento.

TABELLA 37 - CALCOLO RAPIDO del VALORE di DUE RESISTENZE in PARALLELO

Rapporto $R_2 : R_1$	Moltiplicare R_1 per	Rapporto $R_2 : R_1$	Moltiplicare R_1 per
1,00	0,500	4,10	0,805
1,05	0,512	4,20	0,808
1,10	0,524	4,30	0,811
1,15	0,535	4,40	0,815
1,20	0,545	4,50	0,819
1,25	0,556	4,60	0,821
1,30	0,565	4,70	0,825
1,35	0,575	4,80	0,828
1,40	0,583	4,90	0,830
1,45	0,592	5,00	0,833
1,50	0,600	5,25	0,840
1,55	0,608	5,50	0,846
1,60	0,615	5,75	0,852
1,65	0,623	6,00	0,857
1,70	0,630	6,25	0,862
1,75	0,636	6,50	0,867
1,80	0,643	6,75	0,871
1,85	0,650	7,00	0,875
1,90	0,655	7,25	0,880
1,95	0,662	7,50	0,882
2,00	0,667	7,75	0,885
2,05	0,670	8,00	0,888
2,10	0,677	8,25	0,893
2,15	0,682	8,50	0,895
2,20	0,687	8,75	0,898
2,25	0,692	9,00	0,900
2,30	0,697	9,25	0,903
2,35	0,701	9,50	0,905
2,40	0,706	9,75	0,908
2,45	0,710	10,00	0,909
2,50	0,714	10,50	0,913
2,55	0,719	11,00	0,917
2,60	0,722	11,50	0,920
2,65	0,725	12,00	0,923
2,70	0,730	12,50	0,926
2,75	0,732	13,00	0,929
2,80	0,737	13,50	0,932
2,85	0,740	14,00	0,933
2,90	0,743	14,50	0,935
2,95	0,748	15,00	0,937
3,00	0,750	16,00	0,941
3,10	0,755	17,00	0,945
3,20	0,762	18,00	0,948
3,30	0,767	19,00	0,950
3,40	0,772	20,00	0,952
3,50	0,778	21,00	0,955
3,60	0,782	22,00	0,957
3,70	0,786	23,00	0,959
3,80	0,791	24,00	0,960
3,90	0,796	25,00	0,961
4,00	0,800	30,00	0,967

TABELLA 38 - GRAFICO per il CALCOLO del VALORE di DUE RESISTENZE in PARALLELO

A mezzo della tabella 37, si può conoscere, con buona precisione, il valore risultante da due resistenze connesse in parallelo. Noti i valori delle due resistenze, sia *R1* il valore minore ed *R2* quello maggiore. Il quoziente tra *R2* ed *R1* dà un numero che, individuato nella colonna (*R2:R1*), è affiancato ad un altro nella colonna « *Moltiplicare R1 per* ». Effettuando il prodotto, si ha il valore risultante. Se il rapporto *R1:R2* non figura esatto nella relativa colonna, si sceglie il valore più prossimo.

Esempio: Due resistenze sono in parallelo. La minore, *R1*, è di 2.500 ohm, e la maggiore, *R2*, è di 6.000 ohm. Si ha *R2:R1* = 6.000 : 2.500 = 2,4. A lato di 2,40, troviamo il coefficiente 0,706 che va moltiplicato per *R1* :

0,706 × 2.500 = 1.765 (valore risultante).

L'uso della tabella 38 è invece il seguente: noti i valori di *R1* e di *R2*, si individuano i loro punti sulle due scale, orizzontale e verticale, numerate da 0 a 1.000 (in ohm), ma che possono essere moltiplicate o divise entrambe per un sottomultiplo o multiplo di 10. *Ripetiamo l'esempio precedente*. Si trovano i punti corrispondenti ad *R1* (2.500) e ad *R2* (6.000). Il primo, sull'asse orizzontale, corrisponderà a 250 (×10), e, poichè ogni divisione corrisponde al valore di 20 (nel nostro caso 200), il punto sarà due spazi e mezzo a destra di 200. Sull'asse verticale si trova il punto corrispondente a 6.000 (600×10). Uniti i punti con una linea immaginaria (a mezzo di un righello) si individuerà un terzo punto corrispondente all'incrocio della linea immaginaria con la retta inclinata a 45°. Da tale punto si abbassa una perpendicolare (con l'aiuto del righello), fino ad incontrare nuovamente l'asse orizzontale, sul quale leggeremo il valore di circa 1.800, assai approssimato a quello di 1.765 precedentemente trovato. Il grafico è meno preciso della tabella 37 ma, tenendo conto della tolleranza che esprime il valore delle resistenze, l'approssimazione è sufficiente. Il grafico è reversibile. Noto il valore da ricavare, dal punto corrispondente sull'asse orizzontale si traccia una perpendicolare fino ad incontrare la retta inclinata. Tutte le rette passanti per quel punto, e che incontrano i due assi del grafico, individuano altrettante coppie di valori che, connessi in parallelo, dànno il valore desiderato.

NORME ELEMENTARI di CALCOLO ALGEBRICO

Uno dei principali criteri di svolgimento del nostro Corso consiste nell'esposizione della materia in maniera tale che essa possa essere accessibile anche a chi non ha svolto studi ulteriori alle scuole elementari. Abbiamo avuto cura perciò nelle lezioni sin qui svolte, di redigere opportune note esplicative nei riferimenti di espressioni e termini matematici che avrebbero potuto riuscire nuovi a tali lettori. Ora, nell'accingerci — con la lezione prossima — all'esame di circuiti più complessi di quelli sinora visti, riteniamo giunto il momento di dedicare uno spazio maggiore alla spiegazione di alcune regole elementari di calcolo il cui nome e la cui presenza non deve tuttavia spaventare il lettore non molto portato a questo studio.

Egli si accorgerà — anche in virtù degli esempi che appositamente riportiamo — di quanto semplici ed utili siano i calcoli algebrici; con essi gli sarà infatti consentito di seguire in maniera assai più completa l'esame della materia futura.

TERMINOLOGIA DELL'ALGEBRA

Per **espressione algebrica** si intende qualsiasi combinazione di numeri, di lettere usate come numeri, e di segni, che esprima un valore totale ottenibile mediante l'effettuazione delle operazioni da essa indicate: ad esempio $(a+b)$, oppure $\frac{x}{2y}$ sono espressioni algebriche, nelle quali le lettere rappresentano numeri.

Abbiamo già visto che il prodotto tra due o più numeri in algebra è a volte indicato con un puntino in luogo del noto segno « x », oppure, è indicato dal semplice accostamento dei vari fattori; così il prodotto di a per b viene scritto semplicemente come ab; il prodotto 6 per a per b è rappresentato da $6ab$.

Ogni fattore numerico facente parte di un prodotto è un **coefficiente** che esprime per quante volte si intende moltiplicata la parte letterale; ad esempio, $6ab$ significa che il prodotto ab si intende a sua volta moltiplicato per il numero 6.

Nell'algebra si hanno anche **numeri negativi**, cioè quantità numeriche di valore progressivamente *inferiore allo zero*. Consideriamo in proposito la **figura 1**: notiamo anzitutto che i numeri che partono dallo zero, proseguono verso destra fino all'infinito. Se però procediamo a ritroso, ossia verso sinistra, dopo aver oltrepassato lo zero entriamo in un campo in cui i valori numerici si susseguono nel medesimo ordine, *ma esprimono quantità negative*.

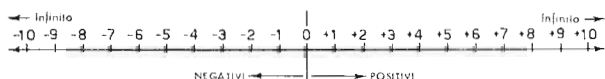



Fig. 1 — Rispetto ad un punto « zero » possiamo avere infiniti valori, ossia numeri, positivi così come altrettanti negativi

Mediante questo sistema, è possibile sottrarre due numeri di cui il secondo è maggiore del primo: ad esempio 3 (positivo) — 5 (negativo) = — 2 (negativo).

Chiameremo **valore assoluto** di un numero, il suo valore indipendentemente dal segno, ossia indipendentemente dal fatto che sia positivo o negativo, mentre viene detto **valore relativo** il valore considerato col suo segno, ossia riferito allo zero preso come punto di riferimento.

Qualsiasi numero, aritmetico o letterale, o il prodotto, o il quoziente tra due o più numeri, prende nome di **termine** o monomio: ad esempio 4, x, y, $25b$, ab, $\frac{x}{y}$, $\frac{3a^2b}{c}$ sono dei termini.

Le QUATTRO OPERAZIONI ALGEBRICHE

I termini aventi la medesima parte letterale possono essere sommati o sottratti, come ad esempio $4x+5x=9x$, oppure $5x+10x=15x$, o ancora $4ab-7ab=-3ab$. Però nel caso in cui la parte letterale differisce, l'operazione può essere soltanto indicata; ad esempio, l'espressione $4x+5m$, può essere risolta solo sostituendo ad x e ad m dei valori numerici.

Addizione

Nella somma di termini algebrici, si hanno le seguenti regole:

1) La somma di due o più numeri di segno positivo dà un valore positivo.
   Esempio: $+6+3+4=+13$
2) La somma di due o più numeri di segno negativo dà un valore negativo.
   Esempio: $-6-3-4=-13$
3) La somma di due o più numeri di segno diverso dà un valore pari alla differenza tra i valori assoluti, il cui segno è eguale a quello del numero più alto.

Sottrazione

Nella sottrazione di numeri il processo è inverso: infatti, per sottrarre una quantità da un'altra, si cambia il segno della quantità da sottrarre, dopo di che si provvede alla addizione, come nel caso precedente.

Esempio:

$$(-6)-(-3)=(-6)+(+3)=-3$$
$$(-3)-(-6)=(-3)+(+6)=+3$$
$$(-6)-(+3)=(-6)+(-3)=-9$$

Segni di raggruppamento

Esistono in algebra dei simboli, i quali hanno il compito di raggruppare varie quantità o termini interessati alla medesima operazione: essi sono la parentesi tonda ( ), la parentesi quadra [ ], oppure la graffe { } nonchè la linea di frazione ———. Tutti questi simboli indicano che le quantità da essi delimitate devono essere considerate come un'unica quantità.

Nelle espressioni complesse nelle quali esistono tali simboli contemporaneamente, allo scopo di evitare errori di calcolo e soprattutto di segno, si effettuano le varie operazioni seguendo un ordine logico e progressivo; si comincia cioè, coll'eseguire le operazioni indicate nelle paretensi più interne — e precisamente tra le parentesi tonde — dopo di che si passa a quelle quadrate, ed infine alle graffe.

Il segno — posto davanti ad una parentesi cambia il segno di tutti i termini in essa contenuti; un'operazione contenente parentesi si esegue in tal caso nel modo seguente:

1° *Esempio*:

$4a - 3ab - (+3a+2ab) = 4a - 3ab - 3a - 2ab = 1a - 5ab$

Per ciò che riguarda l'espressione di cui sopra facciamo osservare che il segno + posto innanzi ad un termine all'inizio di un'espressione (o come primo termine all'interno di una parentesi) viene normalmente omesso in quanto, in tal caso, un termine privo di segno si intende positivo.

Analogamente viene omesso il coefficiente « 1 » innanzi ai valori letterali dato che l'assenza del coefficiente significa che lo stesso equivale a 1.

2° *Esempio*:

$3a - [2am - (2a + 5am) + a^2]$	Togliendo le parentesi tonde, si ha:
$3a - [2am - 2a - 5am + a^2]$	da cui, eliminando le parentesi quadre:
$3a - 2am + 2a + 5am - a^2$	Raggruppando ora i termini analoghi.
$5a + 3am - a^2$	

che può essere considerata l'espressione più semplice alla quale è dato giungere eliminando le parentesi.

Moltiplicazione

Nella moltiplicazione di termini algebrici è necessario tener conto del segno, dell'esponente e del coefficiente dei termini stessi. Nei confronti del segno, vale la regola che **il prodotto tra due termini di segno eguale dà un termine di segno positivo**, e che **il prodotto tra due termini di segno diverso dà un termine di segno negativo.**

Esempio:

(+6)	moltiplicato	(+4)	= +24
(—6)	»	(—4)	= +24
(+6)	»	(—4)	= —24
(—6)	»	(+4)	= —24

Il prodotto tra due potenze aventi la medesima base è eguale ad una potenza avente ancora la medesima base, e per esponente la somma degli esponenti.

Esempio:

(a^2) moltiplicato $(a^3) = a^6$

(ab^3) moltiplicato (ab) moltiplicato $(ab^2) = a^3b^6$

(in questo caso l'esponente del primo fattore a è 1; esso non viene scritto, ma se ne tiene conto).

In caso di termini muniti di segno, occorre tener conto della regola relativa.

Esempio:

$(+ab^2)$ moltiplicato $(+ab) = +a^2b^3$

$(+ab^2)$ moltiplicato $(-ab^3) = -a^2b^5$

Il coefficiente del prodotto tra due fattori è eguale al prodotto tra i coefficienti stessi.

Esempio:

$6a$ moltiplicato $2a$ moltiplicato $4a = 48a^3$

$(+6a)$ moltiplicato $(-2a)$ moltiplicato $(+4a) = -48a^3$

Se la parte letterale differisce, il loro prodotto resta solo indicato dall'accostamento delle lettere, altrimenti si procede come indicato precedentemente.

Esempio:

$2ab$ moltiplicato $4a$ moltiplicato $2a^2c = 16\,a^4bc$

Divisione

Nella divisione tra due termini, per ottenere il quoziente è necessario — come per la moltiplicazione — tener conto del loro segno, coefficiente ed esponente.

Anche in questo caso il quoziente tra due termini di segno eguale dà un termine di segno positivo, e tra due termini di segno diverso un termine di segno negativo.

Esempio:

(+6)	diviso	(+2)	= +3
(—6)	»	(—2)	= +3
(+6)	»	(—2)	= —3
(—6)	»	(+2)	= —3

Il quoziente tra due potenze aventi la medesima base è eguale ad una potenza avente ancora la medesima base, e per esponente la differenza tra gli esponenti.

Esempio:

(a^4) diviso $(a^2) = a^2$

(ab^3) diviso $(ab) = b^2$

(nel secondo esempio l'esponente di a è 1, e poichè $1 - 1 = 0$, il termine a non figura nel quoziente).

Per ottenere il coefficiente del quoziente è sufficiente dividere il valore assoluto dei coefficienti del dividendo e del loro divisore, osservando — naturalmente — la regola dei segni.

Esempio:

$(+6a^3)$ diviso $(+3a^2) = 2a$

$(+6a^3)$ diviso $(-3a^2) = -2a$

EQUAZIONI

Per equazione si intende una espressione costituita da due membri di eguale valore. Si afferma perciò con essa una eguaglianza.

La sua risoluzione consiste nel trovare i valori numerici dei termini letterali per i quali l'equazione stessa sussiste.

Nelle equazioni valgono le seguenti regole generali:

1) Se si aggiunge o si sottrae il medesimo numero da entrambi i membri di una equazione, essa resta sempre una equazione.
2) Se entrambi i membri vengono moltiplicati o divisi per un eguale numero diverso da zero, il valore dell'espressione ed il suo significato non cambiano.
3) Se entrambi i membri di una equazione vengono elevati alla medesima potenza, o se da essi si estrae una radice col medesimo indice, l'equazione o eguaglianza continua a sussistere.

Tali regole permettono i processi cosiddetti di « semplificazione », consistenti nella *trasposizione,* nell'*inversione di segno*, e nella *eliminazione*.

La *trasposizione* consiste nel portare un termine da un membro all'altro, dopo aver invertito il suo segno. In altre parole, è possibile togliere un termine positivo da un membro, e portarlo all'altro col segno negativo, e viceversa; ciò è semplicemente un diverso modo per dire quanto enuncia la regola 1), dato che il termine è stato sottratto da o, aggiunto a, entrambi i membri.

È pure possibile togliere un fattore (moltiplicazione), da un membro, e portarlo all'altro come divisore. In altre parole, l'*inversione* del segno di un termine in entrambi i membri di un'equazione è semplicemente un altro modo per moltiplicare o dividere entrambi per —1 (regola 2).

L'*eliminazione* o elisione consiste nell'eliminare i termini eguali che moltiplicano o dividono entrambi i membri di una equazione.

Per risolvere una equazione, occorre innanzitutto effettuare tutte le operazioni indicate che possono essere effettuate, dopo di che essa viene semplificata per quanto possibile applicando le regole generali. Una volta ridotta nella sua forma più semplice, la soluzione consiste nell'isolare al primo membro il termine incognito il quale risulterà automaticamente eguale al valore indicato dal secondo.

Esempi:

1) Data l'equazione $x-5=3$, trovare x.

Aggiungendo +5 ad entrambi i membri (regola 1), si ha:

$x-5+5=3+5$ ossia $x=8$

2) Data l'equazione $5x-4=21$, trovare x.

Aggiungendo 4 ad entrambi i membri (regola 1), si ha:

$5x-4+4=21+4$ da cui $5x=25$

dividendo entrambi i membri per 5 (regola 2), si ha:

$x=25:5=5$

3) Data l'equazione $\frac{1}{3}x+5=8$, trovare x.

Sottraendo 5 da entrambi i membri (regola 1), si ha:

$\frac{1}{3}x+5-5=8-5$ da cui, $\frac{1}{3}x=3$

Moltiplicando ora entrambi i membri per 3 (regola 2), si ha:

$\frac{3}{3}x=9$ ossia: $x=9$

4) Data l'equazione $\frac{4}{5}x+5=25-1\frac{1}{5}x$, trovare x.

Sottraendo 5 da entrambi i membri (regola 1), si ha:

$\frac{4}{5}x=20-1\frac{1}{5}x$

Aggiungendo $1\frac{1}{5}x$ ad entrambi i membri (regola 1),

si ha: $\frac{4}{5}x+1\frac{1}{5}x=20-1\frac{1}{5}x+1\frac{1}{5}x$

da cui: $\frac{5}{5}x+1x=20$ ossia: $2x=20$

dividendo entrambi i membri per 2 (regola 2) si ha:

$x=\frac{20}{2}=10$

5) Data l'equazione $16-5(x+3)=4(2x+1)-9\frac{1}{2}$, trovare x. Togliendo le parentesi, si ha:

$16-5x-15=8x+4-9\frac{1}{2}$

e, semplificando: $1-5x=8x-5\frac{1}{2}$

Sottraendo 1 da entrambi i membri (regola 1), si ha:

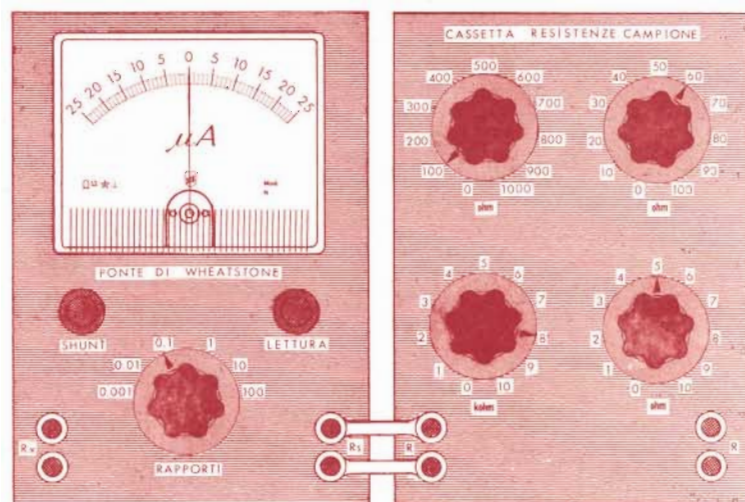
$-5x=8x-6\frac{1}{2}$

Sottraendo $8x$ da entrambi i membri (regola 1), si ha:

$-13x=-6\frac{1}{2}$

Dato che 6 è eguale a 12/2, l'intero secondo membro equivale a 13/2 per cui, dividendo entrambi i membri per —13 (regola 2), ossia per un numero negativo, essi diverranno positivi, e precisamente:

$x=\frac{1}{2}$.

Sul 7° fascicolo una descrizione dettagliata per la costruzione di un PONTE di WHEATSTON. Uno strumento per il vostro Laboratorio, che consente la misura — con elevata precisione — delle resistenze da 1 millesimo di ohm a 1.111.000 ohm.

Abbiamo istituita una particolare forma di abbonamento per coloro che risultano in possesso di fascicoli già pubblicati: si potrà, d'ora in poi, inviare l'importo dell'abbonamento decurtato della quota corrispondente ai fascicoli posseduti, detraendo per ognuno di essi **lire 120** (**centoventi**).

I numeri arretrati costano lire 300 cadauno, tuttavia, per agevolare coloro che fossero privi dei primi 5 fascicoli sinora pubblicati ne offriamo l'invio - franco a domicilio - per il solo importo di lire 750.

corso di
RADIOTECNICA

pubblicazione settimanale - 12 - 19 novembre 1960 - un fascicolo lire 150 **7°** numero

corso di RADIOTECNICA

settimanale a carattere culturale

Direzione, Amministrazione, Pubblicità:
Via dei Pellegrini 8/4 - Telef. 593.478

MILANO

Ogni fascicolo — contenente 3 lezioni — costa lire 150, acquistato alle edicole.

Se l'edicola risulta sprovvista, o si teme di rimanere privi di qualche numero, si chieda invio settimanale direttamente al proprio domicilio a mezzo abbonamento.

Il versamento per ricevere i 52 fascicoli costituenti l'intero Corso è di lire 6500 + I.G.E. = lire 6630. A mezzo vaglia postale, assegno bancario, o versamento sul conto corr. postale 3/41.203 del « Corso di RADIOTECNICA » - Via dei Pellegrini 8-4 - Milano.

In ogni caso, scrivere in modo molto chiaro e completo il proprio indirizzo.

L'abbonamento può essere effettuato in qualsiasi momento; si intende comprensivo delle lezioni pubblicate e dà diritto a ricevere tali lezioni, che saranno inviate con unica spedizione.

Estero: abbonamento al Corso, Lit. 8.500. ($ 15). Numeri singoli Lit. 300 ($ 0,50).

Per i cambi di indirizzo durante lo svolgimento del Corso, unire lire 100, citando sempre il vecchio indirizzo.

Fascicoli singoli arretrati — se disponibili — possono essere ordinati a lire 300 cadauno.

Non si spedisce contrassegno.

Distribuzione alle edicole di tutta Italia: Diffus. Milanese . Via Soperga, 57 - Milano.

Direttore responsabile: Giulio Borgogno.

Autorizzaz. N. 5357 - Tribunale di Milano.

Stampa: Intergrafica S.r.l. - Cologno Monzese.

La Direzione non rivende materiale radio; essa può comunicare, se richiesta, indirizzi di Fabbricanti, Importatori, Grossisti ecc. in grado di fornire il necessario ed ai quali il lettore può rivolgersi direttamente.

Alla corrispondenza con richiesta di informazioni ecc. si prega allegare sempre il **francobollo per la risposta.**

Parte del testo e delle illustrazioni è dovuta alla collaborazione del Bureau of Naval Personnel, nonchè al Dept. of the Army and the Air Force - U.S.A.

A chi può essere utile questo Corso? Anzitutto — stante la sua impostazione — il Corso, basato sull'esposizione in forma a tutti accessibile, della radiotecnica, dai suoi elementi basilari alla evoluzione più recente, rappresenta la forma ideale per tutti coloro che intendono dedicarsi all'elettronica, sia come forma ricreativa sia — soprattutto — per l'acquisizione di una professione specializzata che possa procurare loro una posizione di privilegio in seno alla società odierna.

Anno per anno, la nostra civiltà si indirizza sempre più verso questa meravigliosa, si potrebbe dire fascinosa, elettronica, che nel modo più evidente consente sviluppi impensati, progressi grandiosi e una rapida evoluzione di tutti gli altri rami dello scibile che essa tocca e influenza.

L'industria, tutta l'industria, nel senso più ampio, da quella elettrotecnica a quella meccanica, alla metallurgica, alla chimica ecc., con i suoi laboratori di ricerca e le sue fabbriche richiede, e richiederà sempre più, con un ritmo rapidamente crescente, tecnici specializzati con conoscenza dell'elettronica, tecnici specificatamente elettronici e persino operai e impiegati di ogni ordine e categoria con cognizioni di elettronica.

Si può dire che anche le branche commerciali, quelle dei trasporti e persino quelle amministrative con le recenti introduzioni delle calcolatrici, abbisognano di personale che conosca i principi dell'elettronica, le macchine relative, il loro pieno sfruttamento, la eventuale riparazione ecc. e, quanto più in modo completo, quanto meglio.

Nasce, da una tale situazione, una logica conseguenza: per la scelta di una professione o di un mestiere, per un miglioramento della propria posizione sociale, per l'intrapresa di una libera attività o anche per la sola acquisizione di cognizioni che indubbiamente verranno oltremodo utili, è quanto mai opportuno riflettere se non sia conveniente dedicare un po' di tempo allo studio di questa scienza che ha tra l'altro il pregio di rendersi immediatamente attraente, concreta, accessibile e foriera di moltissime soddisfazioni.

A questo scopo appunto, e con questi intenti, è stato redatto questo Corso.

Non mancano invero altri corsi (specie per corrispondenza) o scuole di radiotecnica, nè mancano (sebbene siano in numero del tutto inadeguato) scuole statali o pareggiate ma la struttura e l'impostazione che caratterizzano queste 156 lezioni sono alquanto particolari, presentando non pochi vantaggi sulle diverse altre forme di cui si è detto.

Anzitutto vogliamo porre in evidenza **il fattore economico.**

Frequentare regolarmente, durante tutto l'anno, una scuola è certo il modo più logico — anche se non il più rapido — per apprendere ma, tralasciando il fatto che rarissimi sono gli Istituti di radiotecnica, è a tutti possibile dedicarsi esclusivamente, e per l'intero anno, allo studio? Noi riteniamo che chi può farlo costituisca oggi assai più l'eccezione che la regola. Ciò significa infatti poter disporre liberamente del proprio tempo senza avere la necessità di un contemporaneo guadagno: il nostro Corso permette a chiunque di studiare a casa propria, nelle ore libere dal lavoro, senza abbandonare o trascurare quest'ultimo. Ciò caratterizza invero anche altri corsi, ma il vantaggio economico diviene notevole ed evidentissimo se si considera che di fronte all'esborso, anche se rateale, di quasi 80.000 lire che i corsi per corrispondenza richiedono, seguendo il nostro Corso la spesa in un anno risulta di poco più di 7500 lire (150 lire alla settimana presso un'edicola) o di 6630 lire totali, con recapito postale, settimanale, delle lezioni a domicilio.

E' superfluo dire che la Modulazione di Frequenza, i transistori, i circuiti stampati, la trasmissione, il telecomando ecc. sono argomenti integrali del Corso e non costituiscono motivo di corsi speciali, aggiunti o particolari.

Le lezioni di questo Corso — a differenza di molte altre — non sono stampate con sistemi di dispensa, a ciclostile, o con sistemi più o meno analoghi, derivanti cioè da un originale battuto a macchina da scrivere; esse sono stampate in uno stabilimento grafico, con chiari caratteri tipografici da cui deriva una assai più agevole lettura e — fattore certamente di non secondaria importanza — un contenuto molto più ampio, corrispondendo una pagina a stampa a tre o quattro pagine di quelle citate. Il lettore avrà, alla fine del Corso, un volume di ben 1248 pagine di grande formato!

Chiunque, indipendentemente dall'età, dalla professione e dalle scuole compiute **può seguire il Corso.** Alle esposizioni teoriche si abbinano numerose, attraenti, istruttive ed utili descrizioni che consentono la realizzazione di ricevitori, amplificatori, strumenti vari e persino di trasmittenti su onde corte.

A questo proposito è sintomatico il fatto che la Direzione non vuole assolutamente assumere la fisionomia di un fornitore o commerciante di materiale radio, rivendendo agli allievi le parti necessarie. Il materiale occorrente l'interessato può acquistarlo dove e come meglio crede e, assai spesso anzi, già ne dispone. Viene così evitato l'acquisto forzoso, caratteristico più o meno di tutti gli altri corsi.

Anche chi è già radiotecnico, anche chi ha seguito o segue altri corsi troverà il massimo tornaconto in questo completo ed aggiornato lavoro. Molte nozioni, è logico, saranno note, altre un po' meno e sarà utile rinfrescarle, e il tutto infine costituirà un manuale di consultazione, prezioso tanto per la teoria esposta quanto per i numerosi schemi, per le tabelle, per i grafici, gli elenchi, i dati, il vocabolario dei termini ecc.

Concludendo, si può affermare che questo **Corso di Radiotecnica** oltre che come insegnamento graduale si presenta come **enciclopedia e rivista assieme** ciò che permette di formare — con modestissima spesa — **il più completo, ricco, utile e pratico volume di radiotecnica di cui sia dato oggigiorno disporre.**

CIRCUITI ELETTRICI COMPLESSI

Col nome di circuiti complessi abbiamo detto che intendiamo definire quei circuiti che non sono semplici disposizioni di elementi in serie o in parallelo, bensì una combinazione dei due tipi. Tale combinazione può essere la risultante di pochi come di molti elementi variamente disposti e, in quest'ultimo caso le risoluzioni possono diventare alquanto difficili. Procediamo intanto per gradi e torniamo all'esame di un altro circuito misto, dopo quello visto in ultimo alla lezione 16ª. Esso è riportato alla **figura 1A**; occorre determinare a quale valore finale di resistenza esso equivale, e per far ciò questa volta, a differenza del procedimento seguito nell'esempio precedente, analizziamo il circuito, seguendo la corrente nel suo percorso. Questa procedura ci consente di renderci meglio conto del comportamento del circuito stesso e dei suoi elementi in presenza appunto della corrente.

La corrente di linea esce dal terminale negativo della batteria ed arriva al nodo *A* attraverso la resistenza R_1. Da questo punto percorre due strade, una delle quali la riconduce al polo positivo della batteria attraverso R_2. Si noti che la corrente non attraversa R_3 da sinistra a destra poichè, per tornare alla sorgente, essa sceglie la strada di minore resistenza che è il collegamento centrale.

Nel secondo percorso si osserva anzitutto che *B* è allo stesso potenziale relativo di *A*. La corrente si divide in *B*: una parte di essa va attraverso R_3 (da destra a sinistra) e torna alla sorgente per la linea centrale, e l'altra parte, attraverso R_4 torna anch'essa al terminale positivo della batteria.

Con la sezione **B** della figura — che rappresenta lo stesso schema ridisegnato opportunamente — si può determinare rapidamente la resistenza equivalente del circuito, che risulta essere di 9 ohm.

Prima di inoltrarci nell'esame di altri circuiti misti maggiormente complessi, è opportuno vengano nuovamente visti diversi concetti, alcuni dei quali già incontrati e citati, che qui raggruppiamo ed esponiamo ancora: è bene averli presente in quanto su di essi si basa gran parte dell'analisi che segue. Si tratta in sostanza delle leggi di Ohm applicate ai circuiti complessi per poterne effettuare le risoluzioni: tali leggi che si riferiscono tanto alla tensione che alla corrente prendono il nome di **leggi di Kirchoff**.

Le LEGGI di KIRCHHOFF

Se ogni resistenza del circuito della **figura 2** ha il medesimo valore, la tensione di alimentazione si divide in parti eguali tra loro, e la caduta di tensione è di 2 volt ai capi di ognuna di esse. Ciò illustra appunto una delle leggi di G.R. Kirchhoff, un fisico tedesco che applicò, come abbiamo testè detto, i principi della legge di Ohm a circuiti più complessi.

La legge di cui sopra stabilisce che **la somma algebrica delle tensioni presenti ai capi di ogni circuito chiuso, in un circuito complesso, equivale a zero.**

Se iniziamo dal punto *A* della figura 2 e procediamo in senso antiorario, indicando le tensioni con la lettera *E*, ne ricaviamo che:

$$+6 - E1 - E2 - E3 = 0$$

ossia

$$+6 - 2 - 2 - 2 = 0$$

Un'altra delle leggi di Kirchhoff, si riferisce ai circuiti in parallelo e stabilisce che: **la somma di tutte le correnti che scorrono in direzione di un punto d'unione di due circuiti è eguale alla somma delle correnti che ne escono.**

Tale legge è illustrata nel circuito del tipo in parallelo della **figura 3.**

Seguendo il passaggio della corrente che parte dal terminale negativo della batteria, vediamo che essa ammonta complessivamente a 2 ampère; al primo punto d'unione o giunzione, la corrente si divide, e scorre 1 ampère attraverso ognuna delle resistenze. Al lato terminale positivo delle resistenze i due rami si riuniscono e una corrente di 2 ampère è nuovamente quella che va alla sorgente di energia.

Quando la corrente percorre un circuito in serie, la tensione di alimentazione è applicata ad un circolo chiuso, il che si verifica anche per il circuito in parallelo, sebbene, come si vede in figura 3, vi siano tre circoli chiusi in un circuito a due vie. Il primo inizia nel punto *A*, attraversa una resistenza, e ritorna al medesimo punto *A* attraverso la batteria; il secondo è analogo al precedente ma attraversa la seconda resistenza. Poichè infine, la legge di Kirchhoff relativa alla tensione non implica la necessaria presenza della sorgente di energia nel circolo, si può considerare come terzo quello che, partendo dal punto *A*, vi ritorna attraverso la prima resistenza, il punto di unione con la seconda, e attraverso quest'ultima.

Dalla legge di Ohm, ($E = IR$), si deduce che ai

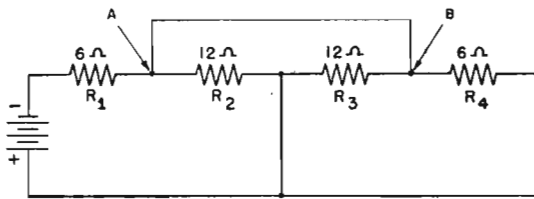



Fig. 1A — Circuito misto. La corrente, per tornare da A alla batteria, percorre due strade: una attraverso R_2 ed una tramite R_3 ed R_4.

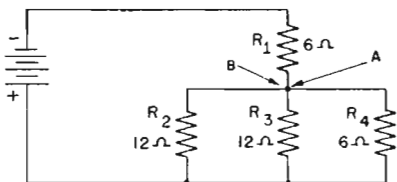



Fig. 1B — Questo circuito equivale a quello di figura 1A. R_2, R_3 ed R_4 in parallelo tra loro formano 3 ohm (12 ohm con 12 ohm = 6 ohm, che con 6 ohm = 3 ohm). R_1, in serie ai 3 ohm, porta a 9 ohm la resistenza totale.

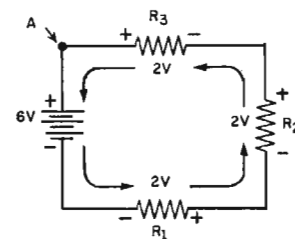



Fig. 2 — Supposto $R_1 = R_2 = R_3$ si hanno eguali cadute di tensione. La somma algebrica delle tensioni di un circuito chiuso equivale sempre a zero, secondo una delle leggi di Kirchhoff.

capi di ognuna delle resistenze vi è una caduta di 6 volt, e, seguendo i primi due circuiti, si applica la legge di Kirchhoff sulla tensione. Vediamo ora se la somma algebrica delle due cadute di tensione del terzo circuito equivale a zero.

Partendo da A, attraverso una delle resistenze da 6 ohm, si trova una caduta di tensione di —6 volt. Continuando attraverso la seconda resistenza a destra, si risale la corrente, e quindi la caduta di +6 volt.

$$-6 \text{ volt} + 6 \text{ volt} = 0$$

Anche la legge di Kirchhoff sulla corrente è illustrata dalla figura 3. Si nota infatti che 2 ampère escono dalla sorgente e si suddividono in due strade alla altezza del nodo, in modo che 1 ampère scorre in ognuna; quindi, all'uscita della giunzione, abbiamo la medesima corrente (2 ampère) che avevamo in entrata della stessa, come enunciato sopra dalla legge.

ALTRI CIRCUITI MISTI

Passeremo ora all'esame di altri circuiti misti, e precisamente di quelli che, in pratica, assumono una definita denominazione derivante dalla loro struttura. Essi, per questo fatto, possono essere rapidamente individuati e, se è il caso, analizzati come un tutto a se stante. Nel caso di cui sopra spesso il circuito assume il nome della funzione che generalmente è destinato a svolgere: è così che avremo *divisori di tensione, attenuatori, ponti*, ecc. Occorre avvertire che il nostro esame si riferisce qui sempre a circuiti con soli elementi resistivi, mentre in seguito vedremo anche circuiti assai più complessi, formati da altri componenti oltre che dalle resistenze.

DIVISORI di TENSIONE

Un tipico divisore di tensione, o partitore, può consistere in una serie di resistenze aventi due terminali di entrata, ai quali viene applicata la tensione totale della sorgente, e due o più terminali di uscita, ai capi dei quali si ottiene — così come dice il nome del dispositivo — la frazione desiderata della tensione totale stessa.

I divisori di tensione vengono frequentemente usati all'uscita degli alimentatori allo scopo di disporre di varie tensioni; i valori di resistenza da impiegare vengono determinati mediante l'applicazione delle leggi di Ohm e di Kirchhoff.

La **figura 4** illustra un esempio di partitore, collegato ai capi di una sorgente di tensione di 270 volt. Come si vede, esso alimenta contemporaneamente tre circuiti di carico, e precisamente 10 mA con 90 volt tra i terminali 1 e quello di massa; 5 mA con 150 volt tra il terminale 2 e massa; 30 mA con 180 volt tra il terminale 3 e massa. La corrente che percorre la resistenza A è di 15 mA. Ecco come possiamo determinare la corrente, la tensione la resistenza e la potenza relative alle quattro resistenze.

Dall'applicazione della legge di Kirchhoff al terminale 1 si ricava che la corrente nella resistenza B equivale alla somma della corrente presente nella resistenza A (15 mA) con quella di 10 mA che scorre attraverso il carico di 90 volt, per cui:

$$I_b = 15 + 10 = 25 \text{ milliampère}$$

Analogamente:

$$I_c = 25 + 5 = 30 \text{ milliampère}$$

e:

$$I_d = 30 + 30 = 60 \text{ milliampère}$$

La legge di Kirchhoff indica che la tensione ai capi della resistenza A è di 90 volt; la tensione ai capi di B è invece:

$$E_b = 150 - 90 = 60 \text{ volt}$$

La tensione ai capi di C è:

$$E_c = 180 - 150 = 30 \text{ volt,}$$

e la tensione ai capi di D è:

$$E_d = 270 - 180 = 90 \text{ volt.}$$

Prima di calcolare i valori delle varie resistenze è necessario ricordare ancora che nella nota formula della legge di Ohm, $R = E{:}I$, R indica la resistenza in ohm se E indica la tensione in volt ed I la corrente in ampère. In molti circuiti elettronici — e particolarmente in quelli in questione — è molto più semplice considerare R in migliaia di ohm (kohm), E in volt, ed I in milliampère, per cui nelle formule seguenti osserveremo tale convenzione.

Applicando la legge di Ohm per determinare le resistenze, si ha:

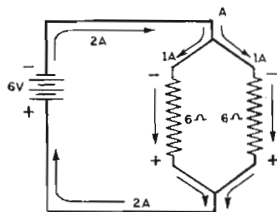
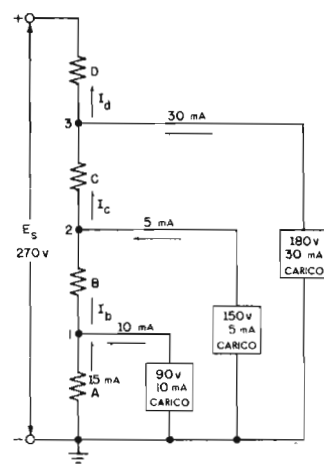



Fig. 3 — Questa figura, oltre alla già citata legge di Kirchhoff sulla tensione, illustra una seconda legge dello stesso nome, quella relativa alle correnti: la somma delle correnti che entrano in A è eguale alla somma delle correnti che escono da B.

Fig. 4 — Esempio di partitore che alimenta contemporaneamente tre circuiti. Con le leggi di Kirchhoff e di Ohm, si possono determinare: la corrente, la tensione, la resistenza e la potenza relative alle 4 resistenze del partitore stesso.

La resistenza di A è: $R_a = \frac{E_a}{I_a} = \frac{90}{15} = 6$ kohm

La resistenza di B è: $R_b = \frac{E_b}{I_b} = \frac{60}{25} = 2{,}5$ kohm

La resistenza di C è: $R_c = \frac{E_c}{I_c} = \frac{30}{30} = 1$ kohm

La resistenza di D è: $R_d = \frac{E_d}{I_d} = \frac{90}{60} = 1{,}5$ kohm

Tornando ora a considerare I in ampère:
la potenza dissipata dalla

resistenza A è: $P_a = E_a I_a = 90 \times 0{,}015 = 1{,}35$ watt
resistenza B è: $P_b = E_b I_b = 60 \times 0{,}025 = 1{,}50$ watt
resistenza C è: $P_c = E_c I_c = 30 \times 0{,}030 = 0{,}90$ watt
resistenza D è: $P_d = E_d I_d = 90 \times 0{,}060 = 5{,}40$ watt

La potenza dissipata dal carico collegato al

terminale 1 è: $P_1 = E_1 I_1 = 90 \times 0{,}010 = 0{,}90$ watt
terminale 2 è: $P_2 = E_2 I_2 = 150 \times 0{,}005 = 0{,}75$ watt
terminale 3 è: $P_3 = E_3 I_3 = 180 \times 0{,}030 = 5{,}4$ watt

La potenza totale dissipata dai tre circuiti di carico è

$$0{,}90 + 0{,}75 + 5{,}4 = 7{,}05 \text{ watt}$$

La potenza totale fornita all'interno circuito comprendente il partitore ed i tre carichi è:

$$9{,}15 + 7{,}05 = 16{,}2 \text{ watt}$$

Tale valore può essere controllato come segue:

$$P_T = E \times I_T = 270 \times 0{,}060 = 16{,}2 \text{ watt}$$

Nella **figura** 5 le resistenze del divisore di tensione sono note e si deve invece calcolare la corrente che scorre in R_5. La corrente di carico attraverso R_1 è di 6 mA, la corrente attraverso R_2 è di 4 mA, e la corrente attraverso R_3 è di 10 mA; la tensione totale di alimentazione ammonta a 510 volt.

La legge di Kirchhoff sulla corrente può essere applicata alle giunzioni *a*, *b*, *c*, e *d* onde determinare le equazioni necessarie per esprimere la corrente che scorre attraverso R_4, R_5, R_6 ed R_7. Analogamente, la corrente che scorre attraverso R_4 è data da $I + 6 + 4 + 10$ ossia $I + 20$; la corrente che scorre attraverso R_5 è I la corrente che scorre attraverso R_6 è $I + 6$ e la corrente che scorre attraverso R_7 è $I + 6 + 4$, ossia $I + 10$.

La tensione presente ai capi di R_4 può essere espressa in funzione della resistenza in kohm e della corrente in mA, ossia 5 $(I+20)$ volt. Analogamente, la tensione presente ai capi di R_5 equivale a $25 \times I$; la tensione presente ai capi di R_6 è 10 $(I+6)$ e la tensione presente ai capi di R_7 è 10 $(I+10)$.

La legge di Kirchhoff sulla tensione può essere applicata al partitore di tensione per risolvere rispetto alla corrente incognita I esprimendo la tensione della sorgente in funzione dei valori dati di tensione, di resistenza e di corrente (sia dei valori noti che di quelli incogniti). La somma delle tensioni presenti ai capi di R_4, R_5, R_6 ed R_7 equivale alla tensione totale, ossia:

$$E_4 + E_5 + E_6 + E_7 = E_S$$
$$5\ (I+20) + 25\ I + 10\ (I+6) + 10\ (I+10) = 510$$
$$50\ (I) = 250$$
$$I = 5 \text{ milliampère}$$

La corrente di 5 mA che scorre attraverso R_5 produce ai suoi capi una caduta di tensione pari a 5×25, ossia 125 volt. Dal momento che R_1 è in parallelo ad R_5, anche la tensione presente ai capi di R_1 è di 125 volt. La corrente che percorre R_4 è pari a $5+20$ ossia 25 mA, e la caduta di tensione corrispondente è pari a 5×25, cioè 125 volt. Dal momento che il punto *d* è a potenziale di massa, il punto *c* è di 125 volt positivo rispetto a *d*, mentre il punto *e* è di 125 volt negativo rispetto al medesimo punto. La corrente che percorre R_6 ammonta a $5+6$ ossia a 11 mA, e la caduta di tensione presente ai suoi capi è di 11×10, vale a dire 110 volt. La corrente che percorre R_7 è pari a $5+10$ (15 mA) e la relativa caduta di tensione è pari a 15×10, ossia 150 volt. Per concludere, la tensione totale equivale alla somma delle tensioni presenti ai capi dei vari tratti del partitore, per cui:

$$125 + 125 + 110 + 150 = 510 \text{ volt}$$

La potenza dissipata da ogni resistenza di tale partitore può essere calcolata moltiplicando la tensione presente ai capi di ogni resistenza per la corrente che la percorre; se la corrente è espressa in ampère, e la f.e.m. in volt, la potenza risulterà espressa in watt, per cui la potenza dissipata da R_4 sarà:

$$P_4 = E_4 \times I_4 = 125 \times 0{,}025 = 3{,}125 \text{ watt}$$

Analogamente, la potenza dissipata da R_5 è:

$$125 \times 0{,}005 = 0{,}625 \text{ watt}$$

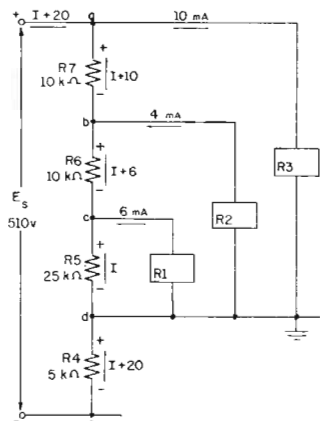



Fig. 5 — In questo partitore, noto il valore delle resistenze e della corrente dei 3 carichi, si deve calcolare la corrente che scorre in R_5. Si applicherà la legge di Kirchhoff sulla corrente per trovare i valori di corrente di R_1, R_5, R_6, ed R_7. Si può applicare anche la legge di Kirchhoff sulla tensione per risolvere rispetto alla corrente incognita I. Si noti che, rispetto al punto comune dei tre carichi (massa), si ha a disposizione in e, una tensione negativa

quella dissipata da R_6 è:

$$110 \times 0{,}011 = 1{,}21 \text{ watt}$$

ed infine, quella dissipata da R_7 è:

$$150 \times 0{,}015 = 2{,}25 \text{ watt}$$

La potenza totale dissipata dall'intero partitore è:

$$3{,}125 + 0{,}625 + 1{,}21 + 2{,}25 = 7{,}21 \text{ watt}$$

La tensione presente ai capi del carico R_1 è la tensione presente ai capi di R_5, ossia 125 volt. La potenza dissipata da R_1 è:

$$P_1 = E_1 \times I_1 = 125 \times 0{,}006 = 0{,}750 \text{ watt}$$

La tensione presente ai capi del carico R_2 è eguale alla somma delle tensioni presenti ai capi di R_5 ed R_6, ossia:

$$E_2 = E_5 + E_6 = 125 + 110 = 235 \text{ volt}$$

La potenza dissipata da R_2 è:

$$P_2 = E_2 \times I_2 = 235 \times 0{,}004 = 0{,}940 \text{ watt}$$

La tensione presente ai capi del carico R_3 è eguale alla somma delle tensioni presenti ai capi di R_5, R_6, R_7, ossia:

$$E_3 = E_5 + E_6 + E_7 = 125 + 110 + 150 = 385 \text{ volt}$$

La potenza dissipata da R_3 è:

$$P_3 = E_3 \times I_3 = 385 \times 0{,}010 = 3{,}85 \text{ watt}$$

e la potenza totale dissipata dai tre carichi è:

$$0{,}75 + 0{,}94 + 3{,}85 = 5{,}54 \text{ watt}$$

La potenza totale fornita dalla sorgente corrisponde alla somma delle potenze totali assorbite dal divisore e dai tre carichi, ossia

$$7{,}21 + 5{,}54 = 12{,}75 \text{ watt}$$

Tale risultato può essere verificato nel modo seguente:

$$P_T = E_T I_T = 510 \times 0{,}025 = 12{,}75 \text{ watt}$$

Il valore delle resistenze di carico R_1, R_2 ed R_3 può essere determinato mediante la legge di Ohm, nel modo seguente:

$$R_1 = \frac{E_1}{I_1} = \frac{125}{6} = 20{,}83 \text{ kohm}$$

$$R_2 = \frac{E_2}{I_2} = \frac{235}{4} = 58{,}75 \text{ kohm}$$

$$R_3 = \frac{E_3}{I_3} = \frac{385}{10} = 38{,}5 \text{ kohm}$$

ATTENUATORI

Gli attenuatori sono dispositivi costituiti da resistenze, con il compito di ridurre (attenuare) la tensione, la corrente o la potenza fornita ad un carico. I due tipi di attenuatori più comuni sono quelli denominati ad « L » ed a « T »: essi sono rappresentati rispettivamente dalla **figura 6-A** e **6-B**.

Se un tale dispositivo è regolabile — come è nel nostro caso — viene detto appunto attenuatore; se invece è fisso, prende più correntemente il nome di «riduttore» (in inglese « pad »).

Il tipo ad « L » mantiene costante la resistenza ai capi di **una** coppia di terminali, per qualsiasi posizione delle resistenze variabili: ad esempio, nella sezione *A* della figura, la resistenza offerta dal carico e dall'attenuatore ai terminali *a b* rimane costante per qualsiasi posizione delle resistenze variabili R_1 ed R_2.

In questo caso, tenendo presente che R_S non è un componente effettivo dell'attenuatore, bensì rappresenta simbolicamente la resistenza interna della batteria, la resistenza offerta al passaggio della corrente misurata tra punto *a* ed il punto *b*, comprende R_S ed R_1 in serie tra loro, ed a loro volta in parallelo alla combinazione del carico in parallelo ad R_2. In detto circuito R_S è eguale ad R_L, e

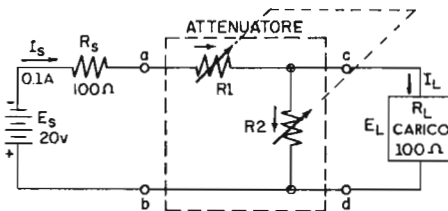
$$R_S = R_1 + \frac{R_2 \times R_L}{R_2 + R_L}$$

La resistenza offerta al passaggio della corrente dal terminale *c* al terminale *d* comprende R_2 in parallelo alla combinazione in serie di R_1 ed R_S, ed R_L.

L'attenuatore ad « L » funziona correttamente soltanto se il carico è collegato ai terminali *c* e *d*, e la sorgente ai terminali *a* e *b*. Ne consegue che il carico e la sorgente non sono intercambiabili in quanto R_L non è eguale a

$$\frac{R_2 (R_1 + R_S)}{R_2 + R_1 + R_S}$$

La sezione *B* della figura illustra, come si è detto, un attenuatore del tipo a « T ». Esso mantiene la resistenza costante ad **entrambe** le coppie di terminali, per qualsiasi posizione delle resistenze variabili. Come si può notare osservando la figura, in questo tipo è necessario

Fig. 6A — Attenuatore ad « L ». La sua caratteristica è di mantenere costante il valore della resistenza ai capi di una coppia di terminali, e precisamente ai capi a e b, qualunque sia la regolazione di R_1 ed R_2. Carico e sorgente non possono essere invertiti tra loro.

l'impiego di un'altra resistenza variabile per cui il circuito è più complesso di quello dell'attenuatore ad « L ».

La resistenza offerta al passaggio della corrente tra i punti *a* e *b* comprende R_S ed R_1 in serie tra loro ed a loro volta in parallelo alla combinazione (anch'essa in parallelo) costituita da due rami, di cui uno è rappresentato da R_2, e l'altro da R_3 in serie ad R_L. In questo circuito si ha che:

$$R_S = R_1 + \frac{R_2\ (R_3+R_L)}{R_2+R_3+R_L}$$

La resistenza offerta al passaggio della corrente tra i terminali *e* ed *f* comprende R_3 in serie alla combinazione parallela i cui rami sono R_2 da un lato, ed R_1 in serie ad R_S ed R_L dall'altro, per cui si ha:

$$R_L = R_3 + \frac{R_2\ (R_1+R_S)}{R_2+R_1+R_S}$$

Dal momento che $R_S=R_L$ e che $R_1=R_3$, il carico e la sorgente sono intercambiabili senza che tale mutamento alteri il funzionamento dell'attenuatore a « T ». Come si è detto, la resistenza presente tra i terminali *a* e *b* è eguale a quella presente tra i terminali *e* ed *f*.

Esistono altri tipi di attenuatori più complessi, come ad esempio il tipo detto a « scala » in quanto in effetti richiama alla memoria proprio l'idea della scala a pioli; l'attenuatore « ponte a T », nel quale due resistenze che costituiscono la parte superiore della lettera T sono in parallelo ad un'altra resistenza, ed infine gli attenuatori « a decadi », nei quali la sistemazione delle resistenze componenti è realizzata in modo tale che la tensione o la corrente della sorgente può essere ridotta o attenuata di frazioni decimali del valore massimo.

Spesso — ed in modo speciale nei circuiti degli apparecchi professionali per radiocomunicazioni — è necessario attenuare una tensione applicata ad un carico onde attenuare di conseguenza il segnale, pur lasciando inalterata la quantità di corrente prelevata dalla sorgente prima che la tensione venisse attenuata. In tal modo il carico applicato a detta sorgente resta costante, e le caratteristiche del circuito restano eguali pur riducendo l'ampiezza del segnale inoltrato al resto del circuito. L'attenuatore del tipo ad « L » è il più semplice col quale sia possibile ottenere quanto sopra.

L'Attenuatore ad « L »

Nell'attenuatore ad « L », illustrato nella sezione A della figura 6; le due caratteristiche essenziali sono la possibilità di variare la tensione applicata al carico, e quella di mantenere costante la quantità di corrente che scorre attraverso la sorgente nonostante le variazioni della tensione di uscita.

Nell'esempio della figura, la resistenza' della sorgente ammonta a 100 ohm, la resistenza di carico è pure di 100 ohm, e la tensione da essa erogata è di 20 volt. Prima che l'attenuatore venga inserito, la corrente fornita al carico è pari a:

$$I_S = \frac{E_S}{R_L+R_S} = \frac{20}{100+100} = 0{,}1 \text{ ampère}$$

In questo caso, la tensione applicata al carico è pari a $E_L=I_SR_L=0{,}1\times100=10$ volt. La caduta di tensione nella sorgente stessa è 20-10=10 volt, il che equivale ad una corrente di 0,1 ampère che scorre attraverso la resistenza interna di 100 ohm.

Per ridurre a 5 volt la tensione presente ai capi di R_L nella sezione *A* della figura — mantenendo la corrente circolante nella sorgente sempre alla intensità di 0,1 ampère — vengono inserite R_1 ed R_2.

La corrente (I_L) che percorre R_L è:

$$I_L = \frac{E_L}{R_L} = \frac{5}{100} = 0{,}05 \text{ ampère}$$

La corrente che percorre R_1 è di 0,1 ampère, in quanto tale resistenza è in serie alla sorgente, e la caduta di tensione ai suoi capi è la differenza tra la tensione massima di origine e la somma delle cadute di tensione presenti nella sorgente stessa ed ai capi del carico, ossia $20-(10+5)=5$ volt. La resistenza di R_1 è $5:0{,}1=50$ ohm.

La corrente che passa attraverso R_2 è la differenza tra la corrente della sorgente, ossia 0,1 ampère, e la corrente che passa attraverso il carico (0,05 ampère), quindi ha una intensità pari a 0,05 ampère. La tensione presente ai suoi capi ammonta a 5 volt in quanto essa è in parallelo al carico. Il valore ohmico di R_2 è pari a $5:0{,}05=100$ ohm. Ne consegue che, inserendo una resistenza di 50 ohm in serie alla sorgente, ed una di 100 ohm in parallelo al carico, la tensione presente ai capi di quest'ultimo viene

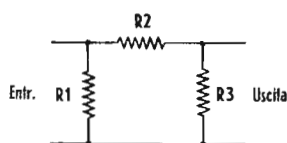



Fig. 6A bis — Attenuatore a « pi greco », detto simmetrico quando $R_1 = R_3$.

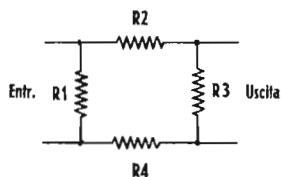



Fig. 6A ter — Attenuatore ad « O », detto simmetrico quando $R_1 = R_3$ ed $R_2 = R_4$.

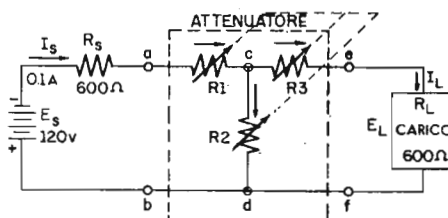



Fig. 6B — Attenuatore a « T ». Offre la caratteristica di mantenere costante ed eguale il valore di resistenza ai capi di entrambe le coppie dei terminali (a - b ed e - f) per qualunque posizione delle resistenze variabili. Carico e sorgente sono tra loro intercambiabili.

ridotta a 5 volt, mentre la corrente totale che circola resta sempre di 0,1 ampère.

In tal modo, mentre la tensione di segnale applicata al carico viene ridotta alla metà del suo valore iniziale, il carico applicato alla sorgente rimane costante.

Il valore totale delle due resistenze in parallelo R_2 ed R_L ammonta a 50 ohm, e il valore totale della resistenza R_1 in serie alla combinazione in parallelo, ammonta a $50+50=100$ ohm. Si conferma perciò che dopo l'inserimento di R_1 ed R_2, la resistenza applicata alla sorgente resta la medesima, ossia che il carico applicato è costante.

L'Attenuatore a « T »

Nell'attenuatore a « T » illustrato nella sezione *B* della figura 6, abbiamo, nell'esempio, $R_S=600$ ohm, ed una tensione della sorgente di 120 volt. Nel nostro caso, inoltre, l'attenuatore ha caratteristiche tali da ridurre la tensione applicata al carico alla metà del suo valore originale. Il problema consiste nel calcolare i valori corrispondenti di R_1, R_2 ed R_3.

Prima che l'attenuatore venga inserito, la corrente del carico equivale a $120 : (600 + 600) = 0{,}1$ ampère, e la tensione corrispondente del carico E_L ammonta a $0{,}1 \times 600 = 60$ volt.

Il compito dell'attenuatore consiste nel ridurre tale tensione alla metà, ossia a 30 volt.

La corrente circolante nel carico, con una tensione di 30 volt, sarebbe $30:600=0{,}05$ ampère. Dal momento che la corrente totale deve mantenere il suo valore di 0,1 ampère, la corrente che percorre R_2 deve essere pari a $0{,}1 - 0{,}05 = 0{,}05$ ampère.

La somma algebrica delle tensioni presenti ai capi del circuito ***dcefd*** è eguale a zero, ed esse possono essere espresse in funzione di corrente, resistenza e tensione, come segue:

$$+0{,}05\,R_2 - 0{,}05\,R_3 - 30 = 0$$

e, dal momento che $R_3 = R_1$

$$0{,}05\,R_2 - 0{,}05\,R_1 = 30$$

La somma algebrica delle tensioni presenti ai capi del circuito ***bacdb*** equivale a zero. Per cui:

$$120 - 0{,}1 \times 600 - 0{,}1\,R_1 - 0{,}05\,R_2 = 0$$

$$0{,}05\,R_2 + 0{,}1\,R_1 = 60$$

Sottraendo la prima equazione dalla seconda, e risolvendo rispetto ad R_1, si ha:

$$\begin{aligned} 0{,}05\,R_2 + 0{,}10\,R_1 &= 60 \\ -0{,}05\,R_2 + 0{,}05\,R_1 &= -30 \\ \hline 0 \quad + 0{,}15\,R_1 &= 30 \end{aligned}$$

da cui:

$$R_1 = \frac{30}{0{,}015} = 200 \text{ ohm} = R_3$$

Sostituendo il valore di R_1 nella prima equazione, si ha:

$$0{,}05\,R_2 - 0{,}05\,(200) = 30$$

$$0{,}05\,R_2 = 40$$

da cui:

$$R_2 = 800 \text{ ohm}$$

La resistenza opposta al passaggio della corrente tra i terminali *a* e *b* comprende la resistenza di 600 ohm della sorgente, e la resistenza dell'attenuatore R_{ab}

$$R_{ab} = R_1 + \frac{R_2\,(R_3 + R_L)}{R_2 + R_3 + R_L}$$

$$= 200 + \frac{800\,(200+600)}{800+200+600}$$

$$= 200 + 400 = 600 \text{ ohm}$$

La resistenza opposta al passaggio della corrente tra i terminali *e* ed *f* comprende la resistenza di 600 ohm del carico, e la resistenza dell'attenuato R_{ef}

$$R_{ef} = R_3 + \frac{R_3\,(R_1 + R_S)}{R_2 + R_1 + R_S}$$

$$= 200 + \frac{800\,(200+600)}{800+200+600}$$

$$= 200 + 400 = 600 \text{ ohm}$$

Per cui $R_{ef} = R_{ab}$ e sia il carico che la sorgente trovano nell'attenuatore la medesima impedenza.

La corrente I_S della sorgente è:

$$\frac{E_S}{R_S + R_{ab}} = \frac{120}{600+600} = 0{,}1 \text{ ampère}$$

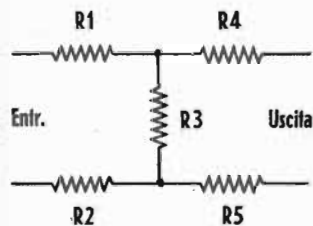
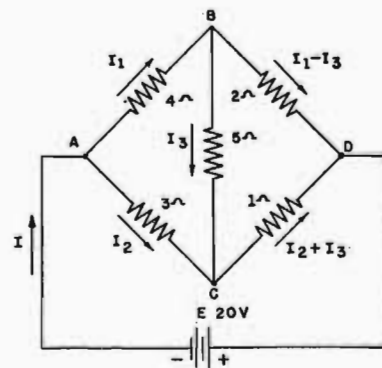



Fig. 6B bis — Attenuatore ad « H »: è un'elaborazione del tipo a « T ». In esso, se necessita la simmetria, $R_1=R_2=R_4=R_5$ e tutte corrispondono a metà valore di R_1 — R_3 di figura 6B.

Fig. 7 — Circuito classico a ponte. Applicando la legge di Kirchhoff si possono determinare i valori di E, I o P.

La tensione di ingresso E_{ab} all'attenuatore è:

$$I_S R_{ab} = 0,1 \times 600 = 60 \text{ volt}$$

La caduta di tensione ai capi di R_1 è:

$$I_S R_1 = 0,1 \times 200 = 20 \text{ volt}$$

La caduta di tensione ai capi di R_2 è:

$$I_2 R_2 = 0,05 \times 800 = 40 \text{ volt}$$

La caduta di tensione ai capi di R_3 è:

$$I_3 R_3 = 0,05 \times 200 = 10 \text{ volt}$$

Per cui la tensione ai capi del carico ammonta a:

$$40 - 10 = 30 \text{ volt}$$

CIRCUITI a PONTE

Un classico circuito a ponte è rappresentato dalla **figura 7.** In esso, evidentemente, abbiamo, per la corrente, più di un percorso. Infatti, la corrente di linea — contrassegnata I — quando incontra un nodo si divide nei diversi rami e si hanno di conseguenza I_1, I_2, ecc. È importante notare che alla giunzione A, la corrente I è eguale ad I_1+I_2.

Vedremo presto — nel capitolo seguente e, in modo particolare alla lezione 21ª — come un circuito a ponte, noto col nome di Ponte di Wheatstone, possa rendersi molto utile col suo comportamento, per la definizione del valore incognito di resistenze.

Per un esame del circuito di figura 7, il numero delle correnti conosciute può essere ridotto assegnando una sigla a tutte le correnti che **entrano** in un nodo, ed esprimendo quelle che ne **escono** sotto forma di funzione delle precedenti. Un esempio di ciò è visibile nel punto C del circuito. La corrente che passa attraverso la resistenza di 1 ohm non è che la somma di I_2+I_3, per cui non è necessario stabilire anche la sigla I_4.

Usando la legge di Kirchhoff, si possono scrivere tante equazioni quante sono le incognite da determinare. Ogni ramo utilizzato per stabilire una equazione, deve comprendere componenti non compresi in altri rami; ogni equazione contiene perciò rapporti che non vengono espressi nelle altre. Tali equazioni sono contemporaneamente esatte, e possono essere raggruppate in un sistema onde ricavare i valori sconosciuti di corrente.

Volendo determinare le correnti di tale ponte con l'impiego della sola legge di Ohm, si incontrerebbero notevoli difficoltà, ma — come vedremo — si può facilmente determinare qualsiasi valore di E, I o P applicando la legge di Kirchhoff.

Supponendo una data direzione della corrente in ogni ramo, la si indica con frecce. Per mantenere minimo il numero delle correnti ignote, si considera che I, nel punto A, si divide in I_1 ed I_2. La prima scorre verso il punto B, e la seconda verso il punto C.

La corrente presente nel tratto BC viene denominata I_3, mentre quella presente nel tratto BD viene determinata in funzione di I_1 e I_3, ossia come I_1-I_3.

Come mezzo di controllo, si può applicare la legge di Kirchhoff sulla corrente al punto D, come segue:

$$(I - I_3)+(I_2+I_3)=I_1+I_2$$

il che equivale alla corrente I_T che esce dal terminale della batteria.

Supponiamo di dover trovare la quantità e la direzione della corrente nel tratto BC di 5 ohm. Si applica la legge di Kirchhoff sulla tensione all'intero circuito, e si allestisce un numero di equazioni sufficiente per includere tutte le correnti incognite.

Se si procede nella direzione presunta della corrente, ogni resistenza causa una caduta di tensione ed è negativa; ogni sorgente di tensione è positiva se favorisce il passaggio di corrente, e negativa se vi si oppone.

Se invece si opera in senso contrario alla direzione presunta, la caduta di tensione ai capi di una resistenza è positiva.

Facciamo seguire ora un esempio di soluzione relativa ad un sistema di equazioni, nelle quali i valori ohmici riportati sono appunto quelli indicati nello schema di figura 7.

Allestire le seguenti equazioni:

Circuito *ABDEA*: $-4I_1 - 2(I_1 - I_3)+20=0$

Semplificando: $-4I_1 - 2I_1+2I_3+20=0$

(*Equazione* 1) $-6I_1+2I_3+20=0$

Circuito *ACDEA*: $-3I_2 - 1(I_2+I_3)+20=0$

Semplificando: $-3I_2 - I_2 - I_3+20=0$

(*Equazione* 2) $-4I_2 - I_3+20=0$

Circuito *ABCA*:

(*Equazione* 3) $-4I_1 - 5I_3+3I_2=0$

Fatto ciò, eliminare I_1 dalle equazioni 1 e 3 come segue:

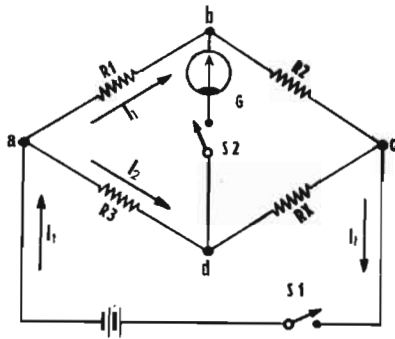



Fig. 8 — Applicazione pratica del circuito a ponte (Ponte di Wheatstone) per la ricerca del valore di una resistenza, R_x. Se R_1, R_2 ed R_3 sono scelte in modo che lo strumento indicatore G non defletta, in quel momento R_x sarà eguale a $(R_2 \times R_3) : R_1$.

Moltiplicare per il numero « 2 » l'equazione 1 . . . . $-12I_1 + 4I_3 + 40 = 0$

Moltiplicare per il numero « 3 » l'equazione 3 e sottrarre (cambiando quindi tutti i segni) . . . . $+12I_1 + 15I_3 - 9I_2 = 0$

(*Equazione* 4) $19I_3 - 9I_2 + 40 = 0$

Eliminare I_3 dalle equazioni 2 e 4 come segue:

Moltiplicare per il numero « 19 » l'equazione 2 . . . $-76I_2 - 19I_3 + 380 = 0$

Aggiungere l'equazione 4 . $-9I_2 + 19I_3 + 40 = 0$

$-85I_2 + 420 = 0$

$-85I_2 = -420$

$$I_2 = \frac{420}{85} = 4{,}941 \text{ ampère}$$

Sostituire I_2 nell'equazione 2

$-4\,(4{,}94) - I_3 + 20 = 0$

$-19{,}76 - I_3 + 20 = 0$

$-I_3 = 19{,}76 - 20$

$I_3 = 0{,}236$ ampère

Sostituire I_3 nell'equazione 1

$-6I_1 + 2\,(0{,}236) + 20 = 0$

$-6I_1 + 0{,}472 + 20 = 0$

$-6I_1 = -20{,}472$

$I_1 = 3{,}412$ ampère

Sostituire tutti i valori noti nell'equazione 3 . . . . $-4\,(3{,}412) - 5\,(0{,}236) + 3\,(4{,}94) = 0$

$-13{,}648 - 1{,}18 + 14{,}82 = 0$

In ultimo, dopo aver trovato i valori di I_1, I_2 ed I_3, ci siamo assicurati che fossero esatti mediante l'ultima sostituzione. La corrente I_3 che scorre attraverso la resistenza di 5 ohm è di 0,236 ampère e la direzione presunta è esatta perchè il valore risultante è positivo.

Dal momento che nel punto A abbiamo

$$I_T = I_1 + I_2 \quad \text{e} \quad I_T = 8{,}353 \text{ ampère}$$

si ha che:

$$R_T = \frac{E_T}{I_T} \qquad R = \frac{20}{8{,}353} = 2{,}39 \text{ ohm approssimativamente.}$$

IL PONTE di WHEATSTONE

Poichè nella lezione che segue viene descritto un circuito a ponte nella sua applicazione pratica come circuito per la misura di resistenze (il ponte di Wheatstone al quale si è già fatto cenno), anticipiamo qui un breve esame del circuito stesso, al fine di rendere più completa l'analisi e quindi più facile la padronanza dell'apparecchiatura di misura.

Quando l'interruttore S_1 della batteria è chiuso (**figura 8**), gli elettroni fluiscono dal terminale negativo della batteria al punto a. Qui la corrente si divide, come accade per qualsiasi coppia di circuiti in parallelo; una parte di essa passa attraverso R_1 ed R_2 e la parte rimanente passa attraverso R_3 ed R_x. Le due correnti, segnate I_1 ed I_2, si congiungono nel punto c e ritornano al terminale positivo della batteria. Il valore di I_1 dipende dalla somma delle resistenze R_1 ed R_2, ed il valore di I_2 dipende dalla somma delle resistenze R_3 ed R_x. In ogni caso, in accordo con la legge di Ohm, la corrente è inversamente proporzionale alla resistenza.

R_1, R_2 ed R_3 sono scelte in modo che, allorchè l'interruttore S_2 del galvanometro è chiuso, non si verifica alcuna deflessione dell'indice dello stesso. Quando il galvanometro non deflette, vuol dire che non vi è differenza di potenziale tra i punti b e d, il che significa anche che la caduta di tensione (E_1) ai capi di R_1 (tra i punti a e b) è pari alla caduta (E_3) ai capi di R_3 (tra i punti a e d). Per analogo ragionamento, le cadute di tensione ai capi di R_2 e di R_x, cioè E_2 ed E_x, sono eguali. Possiamo esprimere ciò algebricamente:

$$E_1 = E_3 \text{ oppure } I_1R_1 = I_2R_3;$$

ed: $$E_2 = E_x \text{ oppure } I_1R_2 = I_2R_x.$$

Dividiamo la caduta di tensione ai capi di R_1 e di R_3 per le rispettive cadute ai capi di R_2 ed R_x:

$$\frac{I_1R_1}{I_1R_2} = \frac{I_2R_3}{I_2R_x} \text{ semplificando: } \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_x} \text{ Quindi: } R_x = \frac{R_2R_3}{R_1}$$

I valori di resistenza di R_1, R_2 ed R_3 sono prontamente individuabili dalla indicazione relativa che appare sulle resistenze campione che solitamente si adoperano per realizzare questo tipo di ponte, o sono leggibili su scale tarate se si tratta di ponti con ampia portata di valori di lettura e commutatori per il cambio dei valori campione.

MISURE della CORRENTE CONTINUA

AUMENTO della PORTATA di uno STRUMENTO

Gli strumenti usati correntemente in elettronica possono essere in grado di misurare tensioni continue da un minimo di una frazione di volt, ad un massimo di 1500 volt o più, e correnti continue da un minimo di una frazione di milliampère ad un massimo di 10 ampère e oltre; essi si prestano inoltre alla misura delle resistenze con diverse portate.

In linea di massima possono essere attuate varie modifiche al circuito di uno strumento allo scopo di adattarlo alle diverse portate, in modo da disporre così di uno strumento d'uso cosiddetto universale, a meno che non sia necessario, per determinate ragioni, usare un singolo strumento per ogni portata.

Se si tenta di misurare una corrente maggiore della sensibilità massima dello strumento di cui si dispone, accade che esso, ovviamente, viene percorso da una corrente eccessiva col pericolo di gravi danni, in quanto nella bobina scorre una corrente superiore alla massima della sua portata: l'indice oltrepassa il fondo scala colpendo la molletta di fermo a destra, e tutto questo può causare la flessione dell'indice stesso, o la interruzione della bobina, o entrambi gli inconvenienti. Ad esempio, supponiamo che uno strumento da 1 mA con resistenza interna di 27 ohm sia collegato in parallelo ad una sorgente di 1 volt: in questo caso perciò 1 solo milliampère è sufficiente e necessario per la completa deviazione dell'indice su tutta la scala.

Secondo la legge di Ohm, la corrente che scorre in tale circuito è:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{1}{27} = 0{,}037 \text{ ampère, ossia 37 milliampère}$$

per cui 37 mA scorrono in uno strumento nel quale basta 1 mA per provocare la completa deflessione dell'indice.

Il circuito esterno di uno strumento deve essere modificato prima che lo strumento venga usato per misurare le varie correnti e tensioni di uso normale. Mentre per usare lo strumento *come voltmetro gli si aggiunge una resistenza di valore alto* (resistenza addizionale) *in serie* — allo scopo di ridurre la corrente ad un valore che possa essere sopportato sebbene lo strumento venga collegato ad una sorgente di tensione alta — per usarlo *come amperometro, gli si aggiunge una resistenza di valore basso in parallelo,* allo scopo di fornire alla corrente una seconda strada da percorrere. In quest'ultimo caso la corrente si distribuisce parte nello strumento e parte nella resistenza in parallelo, e la prima viene contenuta entro i limiti dello strumento stesso.

Riassumendo, le regole per modificare il circuito esterno sono le seguenti:

1) per l'uso come voltmetro, collegare un'alta resistenza in serie alla bobina mobile.

2) per l'uso come amperometro, collegare in parallelo una bassa resistenza.

Vediamo ora dettagliatamente come si procede per il calcolo delle resistenze aggiuntive, siano esse da porsi in serie che in parallelo, in relazione allo strumento disponibile.

VOLTMETRO TIPICO

Calcolo della resistenza addizionale mediante la legge di Ohm

Per trovare il valore della resistenza in serie occorrente per misurare una data tensione, è necessario conoscere la portata dello strumento, la sua resistenza interna, ed il valore della tensione da misurare, dopo di che è possibile effettuare il calcolo mediante la legge di Ohm.

Si desidera, ad esempio, usare uno strumento da 1 mA f. s. (fondo scala), che ha una resistenza interna di 27 ohm, per misurare una tensione di 10 volt f.s. (vedi **figura 1**).

Sappiamo dunque che la corrente massima che lo strumento può sopportare è di 1 mA, e, poichè i valori di tensione (10 volt), e di corrente (1 mA), sono anch'essi noti, l'intera resistenza del circuito dello strumento deve essere:

$$R = \frac{E}{I} = \frac{10}{0{,}001} = 10.000 \text{ ohm}$$

Quando la resistenza in serie è molto alta in confronto a quella interna dello strumento, non è necessario detrarre il valore di quest'ultima dal valore occorrente della resistenza addizionale ricavato come sopra.

Da quanto si è visto, si ha che in un circuito in cui la tensione applicata sia di 10 volt, ed in cui in serie allo strumento venga collegata una resistenza di 10.000 ohm, la corrente che scorre è di 1 milliampère e con detta corrente l'indice raggiungerà il fondo scala; il voltmetro può perciò misurare 10 volt senza essere danneggiato purchè sia collegato in serie a detta resi-

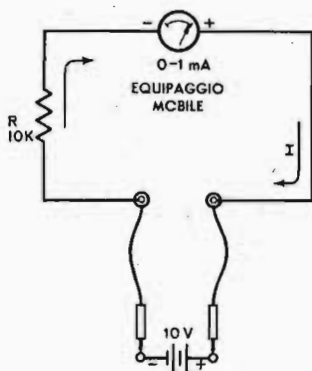



Fig. 1 — La resistenza in serie « R » limita al giusto valore il passaggio di corrente attraverso la bobina mobile

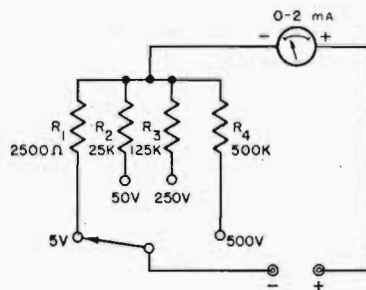



Fig. 2A — Ponendo più resistenze, ognuna di appropriato valore, ed ognuna singolarmente, in serie allo strumento, si possono predisporre portate diverse di lettura voltmetrica. La scelta è fatta dal commutatore.

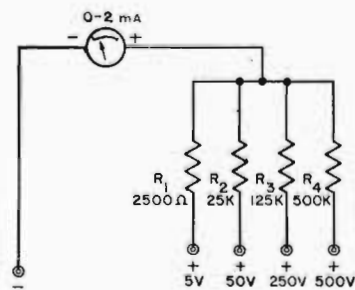



Fig. 2B — In questo caso la scelta della portata è ottenuta inserendo un puntale nella boccola relativa; l'altro puntale (—) rimane sempre nella sua boccola.

stenza di 10.000 ohm. Tale resistenza viene chiamata « addizionale » in quanto aumenta la portata in tensione dello strumento.

Stante ciò, è possibile tarare la scala in volt, e; nel caso preso ad esempio, la lettura di 10 volt rappresenta il fondo scala; se lo strumento viene usato per misurare una tensione di 5 volt, la corrente che lo percorre è di soli 0,5 milliampère. Poichè $I = E:R$ si ha 5:10.000 = 0,0005 ampère = 0,5 mA. Tale valore corrisponde alla metà della corrente massima che può percorrere lo strumento, per cui la bobina mobile determina un campo magnetico pari alla metà di quello massimo: l'indice si porta al centro della scala, ove si trova appunto il valore di 5 volt. La deflessione corrispondente ad un quarto della scala equivale evidentemente a 2,5 volt, e tutte le altre letture sono proporzionali.

Con il metodo descritto è possibile estendere la portata dello strumento a qualsiasi valore. Supponiamo di voler aumentare la portata fino al valore di 500 volt f.s. Applichiamo la legge di Ohm per calcolare la resistenza necessaria per limitare la corrente al massimo valore consentito dallo strumento: se questo è il medesimo strumento di cui sopra, la resistenza sarà data da:

$$R = \frac{E}{I} = \frac{500}{0,001} = 500.000 \text{ ohm}$$

Perciò, collegando una resistenza di 500.000 ohm in serie alla bobina mobile, è possibile usare lo strumento per misurare 500 volt f.s.; in questo caso è sempre la corrente di un solo milliampère che scorre attraverso la bobina provocando di conseguenza l'esatta deviazione dell'indice su tutta la scala.

Calcolo della resistenza addizionale mediante il fattore "ohm per volt"

Un altro sistema per calcolare la resistenza addizionale è basato sul fattore ohm/V (ohm per volt) il quale non è altro che un modo per esprimere la sensibilità dello strumento. Poichè la corrente è data da $E:R$, e il fattore ohm/V equivale a $R:E$, la sensibilità in ohm per volt è data da

$$\textit{sensibilità in ohm/V} = \frac{1}{\textit{sensibilità in corrente}}$$

Ad esempio, se uno strumento ha la sensibilità di 1 mA f.s., sappiamo che ciò significa che 1 mA provoca l'intera escursione dell'indice: se si desidera che il medesimo strumento possa misurare 10 volt f.s., la sensibilità può essere convertita in fattore ohm/V calcolando l'ammontare della resistenza che deve essere collegata in serie affinchè lo strumento possa leggere 1 volt a fondo scala.

Per misurare 1 volt la resistenza che deve essere inserita in serie allo strumento da 1 mA f.s. è $R = E:I = 1:0,001 = 1000$ ohm; per avere una portata di 10 volt f.s. è necessario collegare in serie alla bobina mobile una resistenza 10 volte superiore; *in altre parole uno strumento da 1 mA f.s. può essere definito uno strumento da 1.000 ohm/V.*

Correntemente si usa definire appunto in ohm/V la sensibilità di uno strumento in quanto tale fattore è più comodo per determinare quale resistenza addizionale è necessaria per ogni portata.

Se si desidera aumentare la portata di uno strumento da 5.000 ohm/V avente una resistenza interna di 75 ohm, ad un valore di 300 volt f.s., basta moltiplicare il fattore ohm/V per 300, perciò:

300 × 5.000 = 1.500.000 (ossia 1,5 Mohm)

In questo caso la resistenza interna dello strumento (75 ohm), come si è già accennato, è trascurabile.

Concludendo, l'impiego del fattore ohm/V costituisce un metodo pratico per determinare la sensibilità di uno strumento. Minore è la corrente necessaria per la completa deflessione dell'indice, maggiore è la resistenza che deve essere messa in serie alla bobina mobile per misurare ogni volt, e maggiore è quindi la sensibilità; una volta noto tale fattore, basta moltiplicarlo per la portata desiderata in volt per ottenere il valore della resistenza addizionale.

VOLTMETRI a DIVERSE PORTATE

Resistenze addizionali separate

E' logico che, se con l'aggiunta di una resistenza addizionale si aumenta la portata di un voltmetro, mediante l'impiego di un commutatore o di varie prese, facenti capo a diverse resistenze come è illustrato

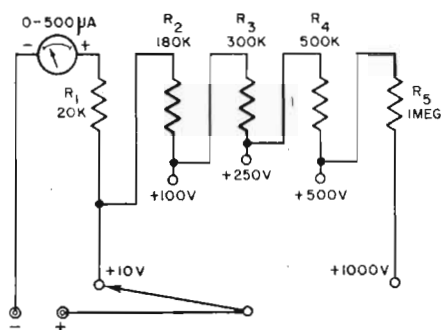



Fig. 2C — Secondo questa soluzione, le resistenze per le varie portate sono sempre in serie allo strumento, ma anche in serie tra loro. La scelta è fatta con commutatore.

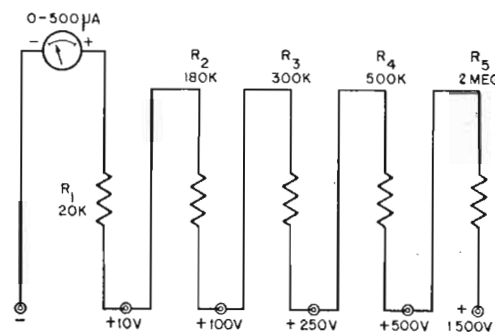



Fig. 2D — Si tratta di un sistema eguale a quello della figura a lato: il calcolo dei valori è eseguito nello stesso modo. La scelta delle portate avviene con lo spostamento di un puntale.

nella **figura** 2 rispettivamente sez. A, *B*, *C* e D, è possibile adattare un voltmetro a diverse portate. Ad esempio, si desidera disporre di un voltmetro a 5 portate commutabili, con resistenza interna di 18 ohm. Le portate richieste sono 5, 50, 250 e 500 volt a fondo scala. (figura 2 sez. **A**).

Il primo passo da compiere consiste nel convertire la sensibilità nel fattore

$$\text{ohm/V} = \frac{1}{\text{sensibilità in corrente}} = 1{:}0{,}002 = 500 \text{ ohm/V}$$

La resistenza addizionale R_1 per la portata di 5 volt, corrisponde a 5 volte 500, ossia 2.500 ohm; R_2 per la portata di 50 volt equivale a 50 volte 500 ossia 25.000 ohm; R_3 per la portata di 250 volt equivale a 250 volte 500 ossia 125.000 ohm, ed infine R_4 per la portata di 500 volt equivale a 500 volte 500 ossia 250.000 ohm.

Le resistenze R_1, R_2, R_3 ed R_4 sono collegate ad un commutatore come nella sez. A nella figura, ed ognuna delle quattro portate può essere scelta portando il commutatore sulla rispettiva resistenza. Nella sez. **B** della medesima figura, le resistenze sono collegate a varie boccole invece che ad un commutatore. Il terminale negativo comune viene inserito nella boccola negativa, mentre l'altro viene inserito in quella positiva corrispondente alla portata desiderata.

Resistenze addizionali in serie tra loro

La sezione **C** della figura 2 illustra la realizzazione di un altro strumento con resistenze addizionali in serie e l'uso di commutatore per le diverse portate. La sezione **D** della stessa figura è relativa invece alla soluzione che ricorre alle prese; in questo caso, come si è detto, uno dei puntali viene inserito nella boccola comune a tutte le portate (terminale negativo), mentre l'altro viene inserito nella boccola corrispondente alla portata desiderata.

Trattandosi di un tipo di moltiplicatore in serie, è necessario innanzitutto calcolare il valore di R_1, ossia della resistenza per la portata più bassa, dopo di che si trova la resistenza totale adatta per la portata immediatamente superiore: dalla cifra ricavata si sottrae il valore di R_1, ed in tal modo si ottiene il valore di R_2. Ad esempio, supponiamo, come da figura, (sez. C e D) che si debba realizzare un voltmetro a 5 portate mediante uno strumento da 0,5 mA fondo scala, ossia da 500 µA, con una bobina da 55 ohm, e che dette portate debbano essere di 10, 100, 250, 500 e 1.500 volt a fondo scala.

Poichè la corrente massima è di 0,5 mA, la sensibilità in ohm/volt è pari a 1:0,0005, ossia 2.000 ohm per volt; la resistenza addizionale R_1 per la portata 10 volt f.s. sarà 2.000 volte 10, ossia 20.000 ohm.

Per la portata a 100 volt f.s. è necessaria una resistenza addizionale pari a 100 volte 2.000, ossia 200.000 ohm, però, essendo essa in seria ad R_1, il suo valore dovrà essere 200.000 meno 20.000, ossia 180.000 ohm. In tal caso, quando il puntale dello strumento verrà inserito nella portata a 100 volt f.s., in serie allo strumento si troverà una resistenza totale di 200.000 ohm — la resistenza effettivamente necessaria — la quale è costituita dalla somma delle due resistenze R_1 ed R_2 collegate in serie tra loro.

Per la portata a 250 volt f.s. la resistenza addizionale deve essere di 250 volte 2.000, ossia 500.000 ohm, di cui 200.000 sono gia costituiti da R_1 ed R_2, per cui R_3 deve essere soltanto del valore necessario affinchè si raggiunga il valore totale di 500.000, ossia 500.000 — 200.000 = 300.000 ohm.

Per la portata a 500 volt f.s. la resistenza totale sarà di 1.000.000 ohm; R_4 sarà di 1.000.000 — 500.000 = 500.000 ohm, in quanto si trova in serie ad R_1, R_2 ed R_3, la cui somma è appunto 500.000, ed infine, procedendo in modo analogo, per 1000 volt si avrà: 2.000.000 (valore necessario) — 1.000.000 (valore già presente) = 1.000.000 ohm, valore per R_5 nella sezione C della figura o, ancora, per 1.500 volt, 3.000.000 — 1.000.000 = 2.000.000 ohm, valore per R_5 nella sezione D.

TIPI di MOLTIPLICATORI

Le resistenze usate per estendere le portate dei voltmetri possono essere tanto a filo che chimiche. Negli strumenti di alta precisione, si usano generalmente resistenze a filo con una tolleranza dello 0,1% tut-

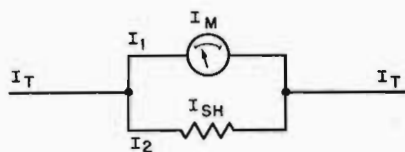



Fig. 3A — Nel caso di misuratori di corrente (amperometri, milliamperometri, ecc.) la resistenza che devia l'eccesso di corrente deve essere posta in parallelo allo strumento; essa prende il nome di « shunt ».

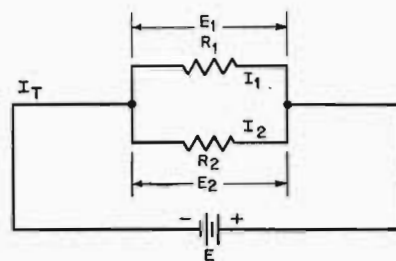



Fig. 3B — La tensione ai capi delle due resistenze in parallelo essendo eguale, si ha un passaggio di corrente, in ogni resistenza, inversamente proporzionale al suo valore.

tavia, si possono usare anche resistenze chimiche, purchè il loro valore sia compreso entro limiti accettabili di precisione. Le resistenze chimiche vengono generalmente impiegate negli strumenti più economici, nei quali una indicazione sufficientemente approssimata può sostituirne una rigorosamente esatta, oppure in strumenti di una certa precisione in casi di emergenza.

E' comunque importante sapere che, in ogni caso, le resistenze addizionali a filo possono essere realizzate solo dai valori minimi fino ad un massimo di qualche diecina di migliaia di ohm, mentre per valori più alti si usano resistenze chimiche, e ciò unicamente per il fatto che resistenze dell'ordine delle centinaia di kohm o dei Mohm realizzate con filo, oltre ad occupare un notevole spazio, avrebbero un costo addirittura proibitivo. A questo scopo, le fabbriche di resistenze chimiche producono, oltre al normale assortimento di resistenze con tolleranza del 5, del 10 o del 20%, anche resistenze speciali, particolarmente selezionate, con tolleranze dell'1% o anche meno, che possono essere usate per le portate alte dei voltmetri di precisione.

AMPEROMETRO TIPICO

Per effettuare una misura di corrente, è necessario interrompere il circuito e collegare un amperometro nel punto di interruzione, ristabilendo il circuito attraverso lo strumento stesso. Quando quest'ultimo è in serie agli altri componenti — e l'intera corrente da misurare è maggiore alla massima che esso può misurare — è possibile collegare una piccola resistenza in parallelo alla bobina mobile onde deviare una parte della corrente stessa. (vedi sez **A** della **figura 3**).

Poichè gli strumenti sono di solito milliamperometri o microamperometri, è possibile estenderne la portata mediante l'impiego degli « shunt », i quali non sono altro che resistenze di valore determinato che vengono collegate *in parallelo*, ossia in derivazione, alla bobina mobile dello strumento.

La corrente attraverso resistenze in parallelo.

Sappiamo già che in un circuito consistente di due resistenze in parallelo, la corrente si divide in modo tale che nella resistenza avente il valore più basso essa scorre in quantità maggiore e viceversa.

Non è male qui rivedere quanto abbiamo già appreso in proposito.

Se due resistenze, R_1 ed R_2 sono in parallelo, la tensione presente ai capi di entrambe è la medesima, ossia E_1 equivale ad E_2 (sez. **B** della figura 3).

Inoltre $E_1 = I_1 \times R_1$

e $E_2 = I_2 \times R_2$

Poichè $E_1 = E_2$, si ha che $I_1 \times R_1 = I_2 \times R_2$

e trasponendo $$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

Questa equazione stabilisce che in un circuito in parallelo contenente due resistenze, la corrente presente in ognuna di esse è inversamente proporzionale al suo valore: se una ha un valore doppio dell'altra, la corrente che scorre nella resistenza maggiore è esattamente la metà di quella che scorre nella minore, ed analogamente, se una è il triplo dell'altra, la sua corrente sarà pari ad un terzo. Ciò è vero in quanto la legge di Ohm stabilisce che *I* volte *R* deve corrispondere alla medesima tensione se le resistenze sono in parallelo.

Formula per il calcolo degli "shunt"

I due circuiti della figura 3 mostrano l'analogia tra un circuito in parallelo contenente due resistenze, e la combinazione tra la resistenza interna di uno strumento ed una seconda resistenza posta in parallelo a quest'ultima.

La formula testè enunciata può essere modificata come segue:

$$R_1 = \frac{Rm\ I_2}{I_1}$$

e, dal momento che i due circuiti sono analoghi, al circuito della sez. A si può applicare la seguente formula:

$$Rsh = \frac{Rm\ Im}{I_{sh}}$$

nella quale *Rsh* è la resistenza dello « shunt », *Rm* quella della bobina mobile, *Im* la corrente massima

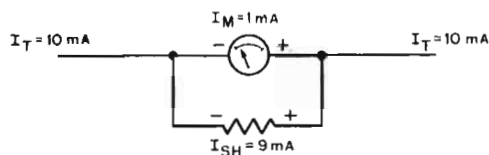



Fig. 4 — Dovendo misurare 10 mA massimi con uno strumento da 1 mA a fondo scala, si provvederà con uno « shunt » ad assorbire i 9 mA che risultano eccessivi per la portata dello strumento.

Fig. 5 — Così come per disporre di diverse portate nel caso dei voltmetri si prevedono commutatori di resistenze addizionali (in serie), nel caso dei misuratori di corrente si prevedono diversi valori di « shunt » (in parallelo).

necessaria per provocare la deflessione dell'indice dello strumento fino al fondo scala, ed infine *Ish* la quantità di corrente che deve passare attraverso lo « shunt ».

Tale formula può essere utilizzata per calcolare i vari valori degli « shunt » da collegare in parallelo ad un dato strumento.

Supponiamo che si desideri estendere la portata di uno strumento da 1 mA f.s. e bobina da 27 ohm, a 10 milliampère. Ciò significa che, quando l'indice si trova a fondo scala, nel circuito deve scorrere una corrente di 10 mA, (vedi **figura 4**). Dal momento che l'equipaggio mobile può sopportare soltanto 1 mA, lo « shunt » deve permettere il passaggio della intera differenza, ossia di 9 milliampère.

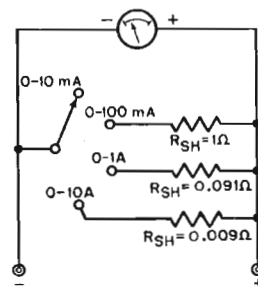
Al fine di calcolare la resistenza opportuna che lo « shunt » deve avere si usa la formula che dà il valore di R_{sh}.

$$R_{sh} = \frac{Rm\ Im}{I_{sh}} = \frac{27 \times 0{,}001}{0{,}009} = 3 \text{ ohm}$$

La cifra usata per I_{sh} rappresenta la corrente effettiva che scorrerà nello « shunt », ossia 9 mA, corrispondenti alla corrente totale meno quella che passa attraverso lo strumento, e non la corrente totale che, come sappiamo, è di 10 milliampère.

Dal momento che lo « shunt » ha un valore pari ad 1/9 di quello della bobina mobile, la corrente che lo percorre sarà pari a 9 volte quella che passa attraverso quest'ultima.

Se lo strumento viene collegato in un circuito la cui corrente ammonta a 5 mA, questa si dividerà tra la bobina e lo « shunt » con un rapporto di 1 a 9, per cui attraverso la prima passeranno 0,5 mA, ed attraverso il secondo 4,5 mA, il che corrisponde ad una deflessione dell'indice di metà della scala. Poichè l'intera scala copre la portata di 10 mA, detta deflessione segnerà il valore di 5 mA, e a tutti gli altri valori di corrente compresi tra 0 e 10 mA corrisponderanno spostamenti proporzionali.

La resistenza interna dell'equipaggio mobile deve essere tenuta sempre in considerazione nel calcolo del valore dello « shunt », in quanto detto valore è strettamente legato al primo, mentre a volte è possibile ignorarla, come già si è visto nel calcolo delle resistenze addizionali per i voltmetri. Queste resistenze, infatti sono generalmente di valore piuttosto alto, rispetto alla resistenza della bobina mobile, e il valore di quest'ultima diventa trascurabile.

Tipi di "shunt"

In radiotecnica si misurano generalmente correnti di piccola entità; gli « shunt » sono di solito interni agli strumenti, e realizzati in rame, nichelcromo, argentana o con qualsiasi altro conduttore a bassa resistenza.

Quando invece la corrente da misurare è maggiore di 30 A, lo « shunt » viene posto esternamente allo strumento onde evitare che quest'ultimo venga danneggiato a causa del calore che si sviluppa in seguito al passaggio di una corrente così alta.

Per tali « shunt » a bassa resistenza si usano blocchetti di rame o di manganina, in quanto hanno un coefficiente termico relativamente basso, e possono sopportare correnti estremamente forti.

La resistenza di questi « shunt » è di valore molto basso, (molto meno di 1 ohm): i terminali di collegamento ne fanno parte integrante, e qualsiasi variazione della lunghezza determina una variazione della precisione della lettura.

GLI AMPEROMETRI a PORTATE MULTIPLE

"Shunt" multipli

Negli amperometri a portate multiple è necessario avere diversi valori di fondo scala. Anche per gli amperometri, così come abbiamo visto per i voltmetri, il passaggio dall'uno all'altro valore può essere realizzato o mediante un sistema a commutatore (vedi **figura 5**), o mediante varie boccole nelle quali si inserisce il puntale dello strumento. Ad esempio, se si desidera estendere la portata di uno strumento da 10 mA onde poter effettuare misure nelle varie portate da 0 a 10 mA, da 0 a 100 mA, da 0 a 1 A e da 0 a 10 A, per la prima gamma non è necessaria la presenza dello « shunt » in quanto essa costituisce già la portata base dello strumento. Per la seconda portata, (da 0 a 100 mA), *Rsh* equivale a *Rm Im:Ish,* ossia a 9 volte il

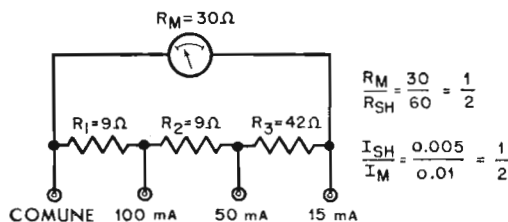



Fig. 6A — Molte volte si adottano « shunt » multipli a circuito chiuso: in essi, a seconda della portata si ha una parte di resistenza in parallelo ed una parte in serie allo strumento. Qui, nella portata più bassa, tutta la resistenza ($R_1+R_2+R_3$) è in parallelo.

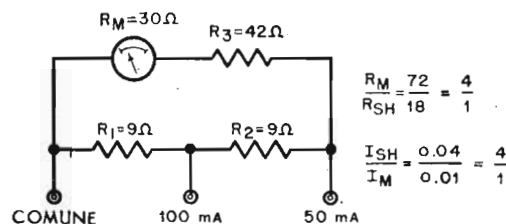



Fig. 6B — Nella portata di 50 mA due delle resistenze (R_1 ed R_2) risultano ancora in parallelo allo strumento che però ha in serie R_3; di ciò occorre tenere debito conto nel calcolo dei valori resistivi.

rapporto 0,01:0,09, ossia 1 ohm. Per la terza portata, (da 0 a 1 A), *Rsh* è eguale a 9 volte il rapporto 0,01:0,99, ossia 0,091 ohm. Per la quarta portata infine si considera il valore di 10 A invece del valore effettivo di 9,99 A in quanto non esiste praticamente una differenza numerica usando alternativamente i due valori, mentre invece resta facilitato il calcolo.

« Shunt » a circuito chiuso o ad anello

Molti tipi di milliamperometri commerciali impiegano « shunt » a prese intermedie — detti anche ad anello — invece di « shunt » separati. Secondo questo sistema, una parte della resistenza si trova in serie all'equipaggio mobile, mentre l'altra parte è collegata in parallelo, dipendendo ciò dalla portata (vedi figura 6). Ad esempio, nella portata più bassa, e precisamente da 0 a 15 mA, l'intera resistenza dello « shunt », costituita da R_1, R_2 ed R_3 si trova in parallelo alla bobina mobile, come è illustrato nella sez. **A** della figura. Nella portata successiva — da 0 a 50 mA — R_3 si trova in serie allo strumento, mentre R_1 ed R_2 sono in parallelo, come è illustrato nella sezione **B**. Nella portata più alta infine — da 0 a 100 mA — R_2 ed R_3 sono in serie, mentre R_1 è in parallelo al circuito costituito dallo strumento e dalle due resistenze R_2 ed R_3 come è illustrato nella sez. **C**.

Il sistema di « shunt » ad anello ha un vantaggio rispetto a quello degli « shunt » separati perchè, dal momento che una parte della resistenza totale si trova in serie allo strumento, la parte di resistenza in parallelo che ha il compito di assorbire la maggior parte della corrente non deve essere di valore eccessivamente basso in quanto detto valore è proporzionale al valore della resistenza shuntata, che naturalmente viene ad essere maggiore che non quello della sola bobina mobile.

Per calcolare i valori degli « shunt » ad anello è necessario comprendere perfettamente le relazioni che intercorrono tra le resistenze in parallelo ed in serie, e le relative correnti. Nella **figura 7**, R_A è di 30 ohm R_B di 60 ohm: esse sono in parallelo. Se in questo circuito scorre una corrente totale di 3 mA, un terzo della corrente, ossia 30:90, scorrerà attraverso la resistenza di 60 ohm (valore resistivo più alto) e due terzi, ossia 60:90, scorreranno nella resistenza di 30 ohm (valore resistivo più basso). La corrente di 2 mA presente nella resistenza più piccola R_A, è il doppio di quella che scorre in R_B. Il rapporto tra la corrente di un ramo e la corrente totale è il medesimo che esiste tra il valore della resistenza del ramo opposto, e la somma delle due resistenze (R_T).

Ossia $$\frac{I_A}{I_T} = \frac{R_B}{R_T}$$

nella quale R_T equivale a $R_A + R_B$, e I_T equivale $I_A + I_B$. Ciò apparirà più chiaro sostituendo il valore nelle equazioni:

$$\frac{I_A}{I_T} = \frac{R_B}{R_T} = \frac{2}{3} = \frac{60}{90}$$

Moltiplicando entrambi i membri per R_T, la formula diventa:

$$R_B = \frac{R_T\ I_A}{I_T}$$

Per usare questa formula onde calcolare lo « shunt » dello strumento, supponiamo che le due resistenze in parallelo rappresentino rispettivamente una bobina mobile ed il suo « shunt ». La sotto-lettera $_A$ diventa $_M$, e $_B$ diventa $_{SH}$. La formula diventa così:

$$R_{SH} = \frac{R_T\ I_M}{I_T}$$

Per risolvere i problemi relativi agli « shunt » ad anello si trova innanzitutto il valore dell'intero «shunt» mediante la formula:

$$R_{SH} = I_M R_M : I_{SH}$$

e gli « shunt » individuali costituenti l'anello vengono calcolati usando invece la formula:

$$R_{SH} = \frac{R_T\ I_M}{I_T}$$

Ad esempio, calcoliamo i singoli valori delle resistenze costituenti lo « shunt » ad anello illustrato nella figura 6.

Lo strumento ha una bobina mobile da 10 mA, 30 ohm. Innanzitutto, è necessario trovare il valore dell'intero « shunt » ossia $R_1 + R_2 + R_3$. Nella portata

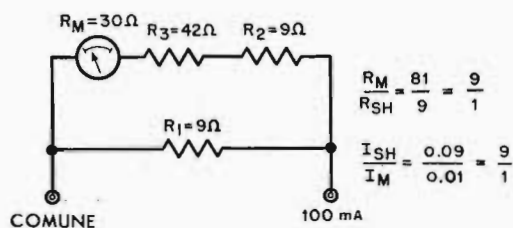



Fig. 6C — Per la portata più alta risulta come « shunt » solo R_1; essa è in parallelo all'assieme strumento + $R_3 + R_2$. Queste ultime due resistenze sono infatti in serie allo strumento stesso.

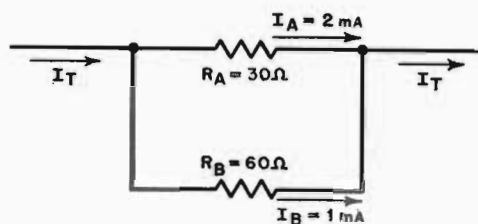



Fig. 7 — Se R_A è di 30 ohm ed R_B di 60 ohm, e si ha una corrente totale I_T di 3 mA, nel valore resistivo più alto scorrerà un terzo della corrente (1 mA), nel valore resistivo più basso i due terzi (2 mA).

15 mA, tutte le resistenze sono in serie ($R_1 + R_2 + R_3$) e nel loro assieme risultano in parallelo alla bobina mobile dello strumento.

Usando la vecchia formula dello « shunt », si ha:

$$R_{SH} = \frac{I_M\ R_M}{I_{SH}} = \frac{0{,}01 \times 30}{0{,}005} = 60 \text{ ohm}$$

quindi $R_1 + R_2 + R_3$ equivale a 60 ohm. Ora che conosciamo l'intero valore dello « shunt », è possibile calcolare R_T computando i valori delle singole resistenze presenti nel circuito ad anello. E' opportuno ricordare che per R_T si intende la somma dell'intero « shunt » più la resistenza interna dello strumento. Poichè lo « shunt » totale è, come abbiamo visto, di 60 ohm, e la resistenza interna è di 30 ohm, R_T equivale a 90 ohm. A questo punto si può calcolare il valore dello « shunt » per la portata più alta (da 0 a 100 mA): per questa portata, come nella sez. C, R_1 agisce da « shunt », e, usando la formula dello « shunt » ad anello, si ha:

$$R_1 = \frac{R_T\ I_M}{I_T} = \frac{90 \times 0{,}01}{0{,}1} = 9 \text{ ohm.}$$

Nella portata da 50 mA lo « shunt » è costituito da $R_1 + R_2$ (vedi sezione B della figura) e

$$R_1 + R_2 = \frac{R_T\ I_M}{I_T} = \frac{90 \times 0{,}01}{0{,}05} = 18 \text{ ohm.}$$

Dal momento che R_1 è di 9 ohm, ed $R_1 + R_2$ è = 18 ohm, è ovvio che R_2 deve essere di 9 ohm, quindi R_3 avrà un valore pari alla differenza tra 60 e 18, ossia 42 ohm.

STRUMENTI ad ALTA RESISTENZA

Quando si usa uno strumento a bassa resistenza per misurare una tensione presente ai capi di una resistenza di alto valore, è probabile che le condizioni del circuito vengano alterate, dal che consegue una lettura inesatta. Ad esempio, nella sez. **A** della **figura 8**, due resistenze da 100.000 ohm sono in serie tra loro ed in parallelo ad una batteria da 60 volt. Essendo le due resistenze eguali, ai capi di ognuna di esse avremo 30 volt.

Supponiamo di collegare uno strumento da 1.000 ohm per volt ai capi di R_1, mettendolo nella portata 100 volt come nella sez. **B**. In questo caso avremo una resistenza di 100.000 ohm in serie allo strumento (pari a 100 volt × 1000). Quando detto strumento viene collegato ai capi di R_1, due resistenze da 100.000 ohm vengono a trovarsi in parallelo, per cui il valore totale scende a 50.000 ohm. A causa di questa variazione di resistenza, varia contemporaneamente la distribuzione delle tensioni nei circuiti. La resistenza totale che prima era di 200.000 ohm, è ora di 150.000, e poichè R_2 ha assunto ora un valore pari a 2/3 della resistenza totale in serie al circuito, ai capi avremo 40 volt — pari a 2/3 della tensione totale — mentre avremo soltanto 20 volt ai capi della combinazione tra R_1 e la resistenza dello strumento.

Lo strumento legge sempre la tensione presente ai suoi capi, ed in questo caso legge 20 volt, ma, non appena esso viene staccato, la tensione presente ai capi di R_1 torna ad essere di 30 volt. Da ciò possiamo dedurre che se la resistenza interna di un voltmetro è troppo bassa rispetto a quella dell'elemento ai capi del quale si desidera misurare la tensione, si ha come risultato una lettura inesatta.

Quando invece si usa uno strumento più sensibile, con una resistenza addizionale di valore più alto, la lettura è ovviamente più precisa. Uno strumento da 20.000 ohm per volt ha, nella portata a 100 volt, una resistenza in serie di 2.000.000 ohm, e, quando tale resistenza viene collegata in parallelo ai 100.000 ohm di R_1, detto valore rimane praticamente il medesimo agli effetti pratici, per cui non si verificano variazioni di tensione apprezzabili, la tensione rimane a 30 volt, e lo strumento effettua la lettura conformemente.

Maggiore è la sensibilità dello strumento, e maggiore deve essere la resistenza addizionale per una data portata, per cui ne consegue che le perturbazioni apportate nei circuiti sono di minore entità e le letture sono più esatte.

Qualora si disponga unicamente di uno strumento a bassa resistenza per effettuare delle letture di tensione in un circuito ad alta resistenza, l'effetto di « shunt » che lo strumento provoca deve ovviamente essere tenuto in considerazione. Tale effetto può essere ridotto al minimo effettuando la misura col voltmetro adattato alla sua portata maggiore, anche se,

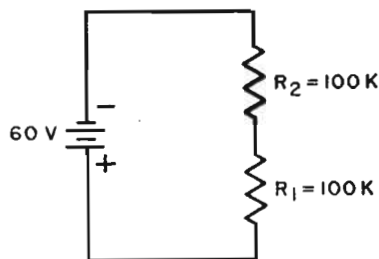



Fig. 8A — Se ad un circuito formato da due resistenze di eguale valore (100 kohm) in serie tra loro, sono avviati 60 volt, avremo ovviamente 30 volt ai capi di ogni singola resistenza.

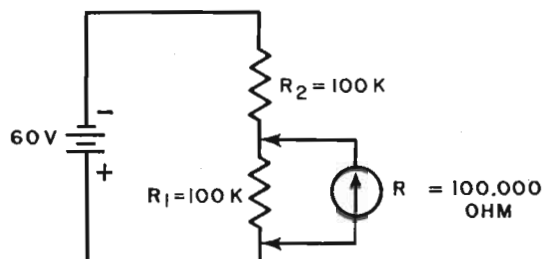



Fig. 8B — I 30 volt presenti nel caso della figura a fianco non sono più tali se ai capi di una resistenza viene posto uno strumento a bassa resistenza totale, dato il suo notevole assorbimento.

in questo caso, la deflessione dell'indice non è molto grande: la resistenza addizionale dello strumento, essendo il valore più elevato, apporta al circuito variazioni di minore entità. Se però in questo caso si ha un minore effetto di «shunt» da parte dello strumento, d'altro canto si ha che la precisione di lettura viene egualmente compromessa a causa dello spostamento minimo da parte dell'indice, poichè, tra l'altro — come abbiamo visto precedentemente — le letture sono tanto più precise quanto più vengono effettuate in prossimità del fondo scala.

APPLICAZIONE degli STRUMENTI

Un altro metodo per misurare tensioni più alte di quelle che lo strumento può sopportare consiste nel creare un partitore di tensioni costituito da 10 resistenze del medesimo valore collegate in serie tra loro. Il valore di tali resistenze deve essere di almeno 1 Mohm in modo da assorbire dal carico una quantità minima di corrente. Detto partitore viene collegato ai capi della tensione da misurare, e la lettura viene effettuata ai capi di una singola resistenza del partitore. Il valore indicato dallo strumento corrisponde allora alla decima parte della tensione effettiva, per cui la lettura stessa deve essere poi moltiplicata per 10.

L'amperometro, a differenza del voltmetro, deve avere una bassa resistenza onde evitare di apportare variazioni al circuito. Se un amperometro viene inserito in un circuito avente una resistenza totale piuttosto piccola, esso riduce in maniera apprezzabile la corrente che scorre; per contro, quando la resistenza dello strumento è piccola in confronto alla resistenza in serie del circuito, il suo effetto sulla corrente totale è trascurabile, dal che deriva una misura più precisa.

Nella ricerca dei guasti il tecnico effettua raramente misure di corrente, in quanto esse implicano l'apertura di un circuito; di solito è possibile ottenere indicazioni sufficienti effettuando le letture di tensione e di resistenze onde individuare la causa del guasto. Ove necessario, la corrente può essere calcolata misurando la tensione e la resistenza ed usando la formula della legge di Ohm che risolve rispetto alla corrente. Se si desidera una lettura amperometrica, e non si dispone di uno strumento adatto per effettuarla, generalmente è più semplice calcolare la corrente col metodo della tensione piuttosto che realizzare uno «shunt» del valore appropriato. A questo scopo, è sufficiente collegare in serie al circuito una piccola resistenza di valore noto, e leggere la caduta di tensione ai suoi capi, dopo di che si calcola la corrente mediante la legge di Ohm. Il valore resistivo inserito nel circuito deve essere piccolo (meno di un decimo del valore della resistenza in serie costituita dal circuito stesso) altrimenti si avranno letture inesatte.

PRECAUZIONI nell'IMPIEGO del VOLTMETRO e dell'AMPEROMETRO

Dal momento che un misuratore di corrente ha una resistenza bassa, è importante usarlo con particolari precauzioni. Se esso viene erroneamente collegato ai capi di una sorgente di tensione, può riportare gravi danni. *Non bisogna mai collegare un amperometro e tanto meno un milliamperometro* **ai capi** *di una batteria o di una resistenza;* è necessario interrompere il circuito e collegare lo strumento **in serie,** in modo che ognuno dei terminali dello strumento sia in contatto con uno dei punti dell'interruzione appositamente effettuata, rispettando naturalmente la polarità nel caso che si tratti di corrente continua, onde evitare una violenta deflessione dell'indice all'indietro e cioè verso sinistra.

I voltmetri invece, devono essere collegati **in parallelo** ai circuiti o ai relativi componenti onde misurare la tensione presente ai loro capi.

Quando si usa o un amperometro o un voltmetro è necessario osservare le seguenti regole:

1) Per misurare un valore completamente ignoto, iniziare sempre con la portata più alta, e diminuire gradatamente detta portata fino ad ottenere una lettura quanto più prossima possibile al fondo scala, senza però che questo venga oltrepassato: questo metodo protegge lo strumento da qualsiasi danno che può derivare dal tentativo di misurare un valore più alto di quello che è previsto in una data portata.

2) Osservare la polarità. I puntali di prova normalmente sono colorati; quello negativo generalmente è nero e quello positivo rosso. Quest'ultima norma ha riferimento e valore soltanto nei casi di lettura in corrente continua.

SIMBOLI - ABBREVIAZIONI

ohm/volt = ohm per volt: fattore che indica la sensibilità di uno strumento a bobina mobile.

f. s. = fondo scala: indica la massima portata di uno strumento, allorchè l'indice si porta all'estremità destra della scala.

R_i = Resistenza interna.

R_m = Resistenza interna di uno strumento.

R_s = Resistenza interna di una sorgente.

R_{sh} = Resistenza di uno « shunt ».

R_{add} = Resistenza addizionale.

I_m = Portata fondo scala di uno strumento in (mA).

I_{sh} = Intensità di corrente attraverso uno « shunt ».

FORMULE

$$\text{Sensibilità in ohm/volt} = \frac{1}{\text{I fondo scala}}$$

Per aumentare la portata voltmetrica di uno strumento:

$$R_{add} = \frac{\text{volt. f.s. (da ottenere)}}{\text{I f.s. (dello strumento)}} - R_m$$

oppure

$$= (\text{volt f.s. da ottenere} \times \text{fatt. ohm/volt}) - R_m$$

Per aumentare la portata amperometrica di uno strumento

$$R_{sh} = \frac{R_m \times I_m}{I_{sh}}$$

SEGNI SCHEMATICI

DOMANDE sulle LEZIONI 19ª e 20ª

N. 1 — Tre resistenze, R1 di 60 ohm, R2 di 50 ohm ed R3 di 40 ohm, sono collegate in parallelo ad una sorgente di tensione di 120 volt. Trovare: a) La resistenza totale; b) La corrente totale, e c) La corrente che scorre in ciascuna resistenza.

N. 2 — Applicando la legge di Kirchhoff per la tensione, ad un circuito in serie, come si determinano i segni algebrici della f.e.m. della sorgente, e quelli delle d.d.p. presenti ai capi dei carichi?

N. 3 — Se la direzione ipotetica della corrente è errata, in quale modo tale errore si ripercuote sul risultato se si applica la legge di Kirchhoff per determinare l'intensità delle correnti in un circuito in serie?

N. 4 — Nella figura 4 della Lez. 19ª, se E_s è di 300 volt, la corrente che passa attraverso la resistenza *A* è di 10 milliampère, le tensioni presenti ai capi dei carichi sono da destra a sinistra rispettivamente di 50, 100 e 200 volt, e le relative correnti ammontano a 5, 10 e 20 milliampère, trovare i valori ohmici di *A*, *B*, *C* e *D*.

N. 5 — Supponiamo che nella figura 5 (Lez. 19ª), R4, R5, R6 ed R7 abbiano ciascuna il valore di 10 kohm, e che le correnti dei carichi R1, R2 e R3 siano rispettivamente di 4, 6 ed 8 milliampère. Se la tensione E_s ammonta a 600 volt, trovare: a) Le correnti che scorrono attraverso R5, R6 ed R7. b) Le tensioni presenti ai capi di R1, R2 ed R3.

N. 6 — Quali sono le funzioni di un attenuatore?

N. 7 — Nell'attenuatore ad « L » di figura 6A (Lez. 19ª), quale è la relazione tra R_S e la resistenza presente tra *A* e *B*? Inoltre, se R_S ed R_L hanno entrambe il volore di 200 ohm, E_S=40 volt, I_S=0,1 ampère ed E_L=4 volt, trovare il valore di R1 e di R2.

N. 8 — Nell'attenuatore a « T » di figura 6B (Lez. 19ª), quale è la relazione tra la resistenza presente tra *a* e *b*, e quella che sussiste tra *e* ed *f*? Inoltre, se R_S ed R_L hanno entrambe il valore di 60 ohm, E_S è di 120 volt, I_S è di 1 ampère ed E_L è di 30 volt, trovare il valore di R1 e di R2.

N. 9 — Nella figura 7 (Lez. 19ª), la resistenza AB sia di 4 ohm, BC di 2 ohm, AC di 8 ohm, BD di 28 ohm, e CD di 6 ohm; se la corrente totale fornita dalla batteria ammonta a 5 ampère, trovare il valore della corrente che percorre AB (I_1) e quello della corrente che percorre BC (I_3).

RISPOSTE alle DOMANDE di Pag. 137

N. 1 —
Volt, ampère, ohm e watt.

N. 2 —

$$I = \frac{E}{R}$$

N. 3 —
La diminuzione di 0,5 ampère.

N. 4 —

(**a**) $E = IR$ (**b**) $R = \frac{E}{I}$

N. 5 —
La potenza è il rapporto tra il lavoro e il tempo.

N. 6 —

(**a**) $P = EI$ (**b**) $P = \frac{E^2}{R}$ (**c**) $P = I^2R$.

N. 7 —
80 watt.

N. 8 —
Un aumento di 25 watt.

N. 9 —
No. La corrente in un circuito in serie è costante in tutti i punti.

N. 10 —
No. Due resistenze in parallelo hanno ai loro capi la medesima d.d.p.

N. 11 —

(**a**) $W = EIt$ (**b**) $W = \frac{E^2}{R}t$ (**c**) $W = I^2Rt$ (**d**) $W = QE$.
(E in volt, I in ampère, W in watt e t in ore).

N. 12 —
10 ampère.

N. 13 —
240 wattore.

N. 14 —
112 volt.

N. 15 —
0,5 ampère.

N. 16 —
No, perchè la resistenza del filamento varia col variare della sua temperatura, il cui aumento determina un aumento di R.

N. 17 —
La condizione necessaria è che funzionino tutte con la medesima intensità di corrente.

N. 18 —
La condizione necessaria è che funzionino tutte con la medesima tensione.

Per non rendere troppo arida questa prima parte del nostro Corso, e per far sì — in altre parole — che alle necessarie esposizioni teoriche si unisse quanto prima possibile qualche progetto realizzativo, abbiamo già fatto in modo che il lettore trovasse — addirittura nel terzo fascicolo — due semplici progetti di ricevitori radio.

Con un intento in parte analogo, ed in parte perseguente altri fini, ci accingiamo ora — nelle pagine che seguono — a descrivere un primo, semplice apparecchio di misura. Abbiamo detto intento analogo per significare che abbiamo voluto passare alla parte pratica con sollecitudine; perseguendo altri fini invece perchè la costruzione che presenteremo non è destinata, come i due ricevitori, ad un successivo smontaggio, ma può rimanere a corredo permanente del laboratorio.

Premettiamo che l'apparecchiatura descritta non rientra in quelle assai più conosciute e di molto più frequente impiego che sono note col nome di analizzatori o « tester », oscillatori, provavalvole ecc., che vedremo ben presto in dettaglio. Si tratta di un piccolo assieme al quale si farà ricorso forse raramente e che, purtuttavia, è molto opportuno possedere perchè può stare alla base di moltissime altre realizzazioni. Si può dire, in altri termini, che il ponte di misura che descriveremo è lo strumento indispensabile alla eventuale costruzione — in forma autonoma — di tutti gli altri strumenti. Poichè la spesa non è elevata e poichè può rendere così preziosi servigi, anche se sporadicamente, noi ne consigliamo senz'altro la costruzione a chi desidera effettuare in avvenire altri montaggi di apparecchi di misura.

Precisiamo che mentre può essere realizzato, in linea di massima, un « ponte » che consenta di effettuare vari tipi di misure (induttanza, capacità, resistenza) abbiamo preferito seguire questo criterio: ponte di elevata precisione per sole resistenze e, successivamente — in un prossimo fascicolo — descrizione di un altro ponte, per i tre elementi citati, con logica necessità di maggiore spesa: si potrà così scegliere a seconda dell'impiego previsto. Questo primo ponte, di precisione, è comunque molto consigliabile.

IL PONTE di WHEATSTONE

Abbiamo testè illustrata, nella prima lezione di questo stesso fascicolo, in modo sufficientemente esauriente, la teoria completa di funzionamento dei ponti. Sulla scorta di ciò, esaminiamo quindi la **figura 1** che riproduce appunto un ponte del tipo che a noi ora interessa e che viene detto di Wheatstone. Troviamo anzitutto che esso — come gli altri circuiti a ponte, del resto — è caratterizzato da una sorgente di energia, da uno strumento rivelatore di corrente, da alcuni componenti « campione » di provata precisione e da due morsetti ai quali viene collegato il componente (nel nostro caso la resistenza) il cui valore deve essere misurato.

COSTRUZIONE di un PONTE di WHEATSTONE

Come sorgente di energia viene impiegata una batteria a secco; come strumento indicatore un galvanometro di elevata sensibilità, del tipo a zero centrale, ossia con l'indice che in posizione di riposo (quando la bobina mobile non è percorsa da alcuna corrente) si trova al centro della scala; come componenti campione una serie di resistenze tarate, a filo.

La figura già citata illustra il principio di funzionamento. Il circuito è costituito da quattro resistenze e precisamente *Ra* (resistenza di valore noto), *Rb* (anch'essa di valore noto e proporzionale ad *Ra*), *Rs* (resistenza standard regolabile a mezzo di un opportuno comando), ed *Rx*, (resistenza incognita da misurare).

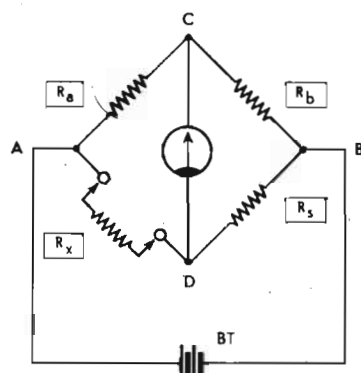



Fig. 1 — Schema di principio del Ponte di Wheatstone. Si hanno tre elementi noti (Ra - Rb - Rs) e quello incognito: Rx, una sorgente di energia BT e lo strumento che indica l'equilibrio.

La batteria *BT* fornisce una corrente continua che viene applicata nei punti *A* e *B*, e che quindi scorre nei due circuiti in parallelo tra loro costituiti da *Ra/Rb* e da *Rs/Rx* rispettivamente in serie tra loro. Il galvanometro è invece connesso tra i punti *C* e *D*, ed ha il compito di misurare la differenza di potenziale esistente tra questi due ultimi punti.

Qualunque siano i valori ohmici di *Ra* ed *Rb*, tra di essi deve esistere un certo rapporto (ad esempio 10; se *Ra* è di 1 ohm *Rb* sarà di 10 ohm). Se il medesimo rapporto sussiste tra *Rx* ed *Rs* (ad esempio, se i rispettivi valori sono di 3 e 30 ohm, nel qual caso 30 : 3=10), il punto *D* avrà il medesimo potenziale del punto *C*. Di conseguenza, nessuna corrente potrà passare attraverso il galvanometro, e l'indice resterà immobile: il ponte sarà «bilanciato». Qualsiasi perturbazione avvenga in una delle quattro resistenze, sarà causa sufficiente a distruggere il bilanciamento ed a provocare un passaggio di corrente attraverso lo strumento.

Ra ed *Rb* vengono denominati «bracci di rapporto», mentre *Rs* (resistenza standard o di «paragone») è il braccio con la cui resistenza viene confrontato il valore di *Rx* onde ottenere il bilanciamento. Se i due rapporti sono eguali, la caduta di tensione presente ai capi di *Ra* equivale a quella presente ai capi di *Rx*: la medesima cosa accade nei confronti della caduta presente ai capi *Rb* e di *Rs*.

Condizione necessaria per ottenere il bilanciamento è dunque che *Ra : Rb* sia eguale a *Rx : Rs*, oppure che *Rb : Ra* sia eguale ad *Rs : Rx*. Per la legge della proporzionalità avremo in ogni caso che:

$$Rx = \frac{Ra \times Rs}{Rb}$$

Allo scopo di ottenere diverse portate di misura, è possibile variare i valori di *Ra* e di *Rb* per ottenere vari rapporti: infatti, dando, ad esempio, ad *Ra* il valore di 10 ohm, e ad *Rb* il valore di 10.000 ohm, avremo un rapporto pari a 10:10.000=1/1.000; in queste condizioni il ponte sarà bilanciato soltanto se il valore di *Rx* sarà pari ad 1/1.000 di *Rs*. Viceversa, se diamo ad *Ra* il valore di 1.000 ohm, e ad *Rb* il valore di 10 ohm, avremo un rapporto pari a 1.000:10=100, per cui il ponte sarà bilanciato soltanto se *Rx* sarà pari a 100 volte *Rs*.

Applicando dunque diversi rapporti intermedi — e potendo variare *Rs* entro ampi margini, progressivi e regolari — è possibile effettuare misure molto precise a partire da una piccolissima frazione di ohm, fino a diverse centinaia di migliaia di ohm. Naturalmente, la precisione dello strumento è in stretta relazione con la precisione delle resistenze campione in esso contenute, con la resistenza dei collegamenti e di vari contatti la quale, se non è minima, può falsare le letture. Di rilevante importanza è anche la sensibilità dello strumento indicatore, nonchè l'ammontare della tensione fornita dalla batteria.

DESCRIZIONE del CIRCUITO

La **figura 2** illustra il circuito del ponte completo: come si nota, la tensione della batteria *BT*, 4,5 volt, viene applicata nei punti *A* e *B* in serie ad un interruttore (*IP1*). Poichè la tensione della pila è necessaria soltanto nei momenti in cui si effettuano le letture, non occorre che sia sempre applicata al circuito. Solo in tali istanti dunque, si esercita una leggera pressione su detto interruttore che è stato scelto perciò del tipo a pulsante, con molla di ritorno.

I due bracci di rapporto, *Ra* ed *Rb*, sono costituiti da cinque resistenze complessivamente, commutabili in sei diverse combinazioni ad opera del commutatore a sei posizioni e due vie. Seguendo la rotazione del cursore dalla posizione 1 alla posizione 6 (contemporaneamente nelle due sezioni), avremo i valori ed i rapporti, di cui alla tabellina della pagina seguente, corrispondenti al fattore di moltiplicazione del valore di *Rs*, col quale si otterrà il valore esatto di *Rx*.

I due terminali contrassegnati *Rx*, come si è detto, servono per il collegamento della resistenza da misurare; mentre i due contrassegnati *Rs* servono per il collegamento delle resistenze standard che è opportuno contenere in una custodia separata.

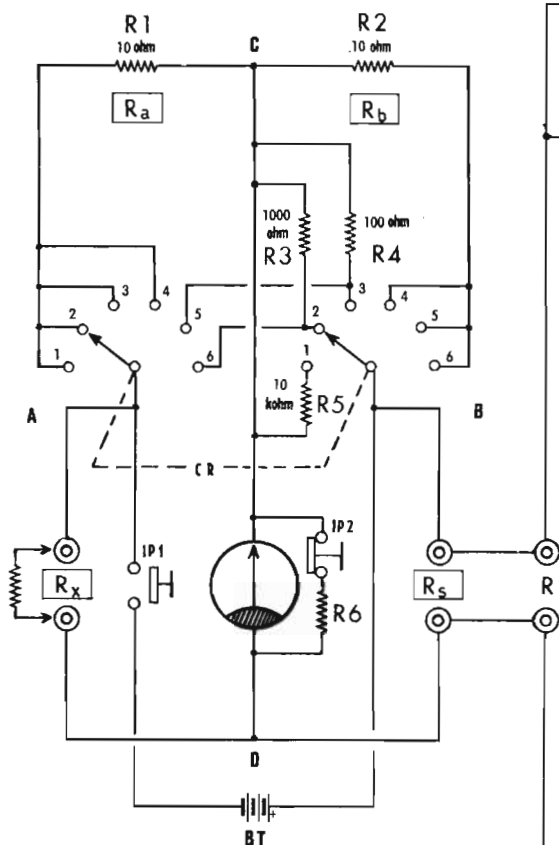
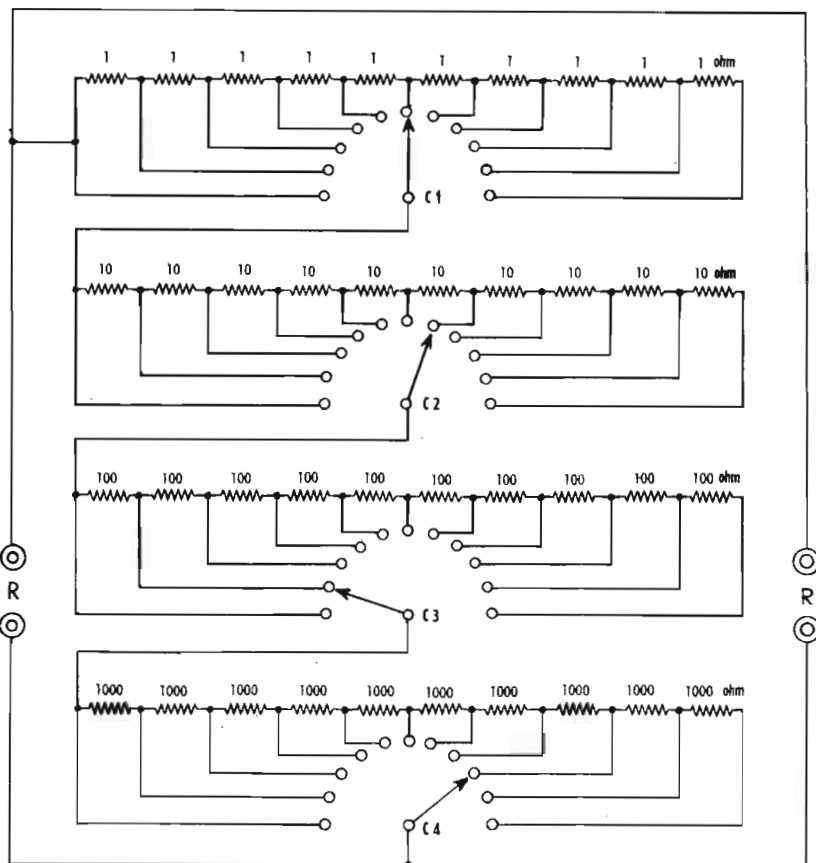



Fig. 2 — Circuito completo.

2 resistenze a filo, da 10 ohm, 0,1 % - R1-R2 - ICE mod. 4
1 resistenza a filo, da 1.000 ohm, 0,1 % - R3 - ICE mod. 4
1 resistenza a filo, da 100 ohm, 0,1 % - R4 - ICE mod. 4
1 resistenza a filo, da 10.000 ohm, 0,1 % - R5 - ICE mod. 4
1 resistenza chimica, da 200 ohm circa - R6
10 resistenze a filo, da 1 ohm, 0,1 % - ICE mod. 4
10 resistenze a filo, da 10 ohm, 0,1 % - ICE mod. 4
10 resistenze a filo, da 100 ohm, 0,1 % - ICE mod. 4
10 resistenze a filo, da 1.000 ohm, 0,1 % - ICE mod. 4
1 commutatore a 2 vie e 6 posizioni - CR - Romagnoli mod. F 305
4 commutatori ad 1 via e 11 posizioni - C1-C2-C3-C4 - Romagnoli F 381
1 microamperometro 25-0-25 (zero centrale) - ICE mod. Cristal B strumento con resistenza interna non superiore a 500 ohm
1 interruttore a pulsante (normalmente aperto) - IP1-GBC mod. G/1203
1 interruttore a pulsante (normalmente chiuso) - IP2-GBC mod. G/1204
1 batteria a secco, 4,5 volt - BT - con squadretta di fissaggio
8 morsetti di collegamento, isolati - Romagnoli mod. D 421
5 manopole con tacca di riferimento - GBC mod. F/58
3 metri di filo da 3 mm argentato, semirigido, per collegamenti
2 cassette metalliche, con pannello, come da testo.

Le resistenze standard o campione sono complessivamente 40: per la relativa selezione vi sono quattro commutatori. Come è visibile dallo schema, dette resistenze si presentano in quattro serie, aventi lo stesso valore in ogni assieme, e precisamente 1 ohm, 10 ohm, 100 ohm e 1.000 ohm. Essendo ogni resistenza collegata in serie, il commutatore relativo potrà scegliere nel primo gruppo, valori compresi tra 0 e 10 ohm, con scatti di 1 ohm; nel secondo, valori compresi tra 0 e 100 ohm, con scatti di 10 ohm; nel terzo, valori compresi tra 0 e 1.000 ohm, con scatti di 100 ohm, e nel quarto valori compresi tra 0 e 10.000 ohm, con scatti di 1.000 ohm. I quattro gruppi sono a loro volta in serie tra loro per cui, ai capi dei morsetti, a seconda delle reciproche posizioni dei commutatori, è possibile formare tutti i valori compresi tra 1 ohm e 11.110 ohm. Una volta collegata la scatola delle resistenze (chiamata «a decadi») ai morsetti *Rs* del ponte, sarà possibile ottenere il bilanciamento del ponte per tutti i valori di *Rx* compresi tra un minimo di 1/1.000 di ohm e 10/1.000 di ohm (di millesimo in millesimo, senza valori intermedi) in posizione 1, fino ad un massimo di 11.110 ohm × 100 = 1.111.000 ohm, in posizione 6.

Rapporti e fattori di moltiplicazione relativi

Posizione	*Ra*	*Rb*	Rapporto	Fattore moltiplicazione
1	10 ohm	10.000 ohm	1 : 1.000	× 0,001
2	10 ohm	1.000 ohm	1 : 100	× 0,01
3	10 ohm	100 ohm	1 : 10	× 0,1
5	10 ohm	10 ohm	1 : 1	× 1
4	100 ohm	10 ohm	10 : 1	× 10
6	1.000 ohm	10 ohm	100 : 1	× 100

Il galvanometro o microamperometro, collegato tra i punti *C* e *D*, è del tipo a zero centrale, e può essere scelto con una sensibilità totale compresa tra 10 e 500 microampère.

Come si è detto, le sue caratteristiche influiscono notevolmente sulla precisione dell'intero strumento, comunque un galvanometro che abbia una portata di 50 microampère (25 - 0 - 25) sarà senz'altro sufficiente.

Come vedremo tra breve, allorchè si effettua la misura di una resistenza il cui valore è completamente ignoto, le notevoli differenze di tensione tra i punti *C* e *D* in mancanza del bilanciamento, potrebbero danneggiare lo strumento allorchè viene azionato il pulsante *IP1* in serie alla batteria. Per tale motivo è collegata in parallelo allo strumento stesso, tramite un interruttore (*IP2*), la resisten-

za *R6*. Detta resistenza agisce da « shunt », e diminuisce notevolmente la sensibilità. Naturalmente, allorchè l'equilibrio è stato quasi raggiunto, quest'ultimo interruttore (che è normalmente chiuso) viene aperto, e lo strumento acquista tutta la sua sensibilità. Per comodità d'uso, e per sicurezza, anche questo interruttore è del tipo a pulsante con molla di richiamo, ma agisce in ciò in senso inverso rispetto al comportamento di *IP1*.

CRITERI COSTRUTTIVI

L'intero strumento viene realizzato in due cassette metalliche separate; in tal modo la scatola contenente le quattro decadi potrà essere utilizzata anche a parte, per altri impieghi, ove sia necessario disporre temporaneamente di resistenze di valore noto e preciso. Le scatole metalliche contenenti sia il ponte propriamente detto che le resistenze a decadi, avranno le dimensioni esterne di cm 22 di altezza, per 16 di larghezza e per 8 cm di profondità.

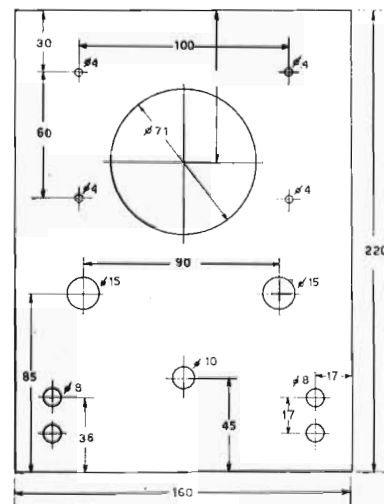
La parte frontale o superiore della cassetta del ponte è costituita da un pannello dello spessore di 2 mm. Su di esso vengono montati il commutatore delle portate (rapporti), lo strumento di controllo, il pulsante di lettura, il pulsante dello « shunt » di protezione, i morsetti di collegamento della resistenza da misurare (*Rx*) ed i morsetti di collegamento della cassetta di decadi (*Rs*). All'interno invece verranno alloggiate tutte le resistenze che costituiscono i rapporti, nonchè la batteria ed i vari collegamenti. Il pannello della cassetta-decadi sarà dello stesso spessore e su di esso saranno montati i quattro commutatori C_1, C_2, C_3 e C_4.

Tutti i commutatori devono avere ottimi contatti a spazzola, e devono essere del tipo illustrato. Le spazzole costituenti il contatto mobile devono esercitare una notevole pressione sui contatti fissi, in quanto una resistenza di pochi decimillesimi di ohm in uno dei contatti mobili può pregiudicare notevolmente la precisione dello strumento.

Per il medesimo motivo i collegamenti devono essere effettuati con filo di rame rigido ed argentato, (ricoperto poi da tubetto sterlingato) avente una sezione di almeno 3 mm di diametro. Le saldature devono essere eseguite con la massima cura, ed i collegamenti inoltre devono avere la minima lunghezza possibile, sia pure a scapito dell'estetica del cablaggio.

Le resistenze possono essere acquistate presso una fabbrica di strumenti di misura o presso qualche fornitore specializzato; devono essere tutte avvolte a filo, e, possibilmente, devono essere « anti-induttive », ossia avvolte ripiegando il filo da avvolgere in due parti, ed avvolgendo contemporaneamente i due capi. In tal modo, tutte le eventuali correnti che percorrono l'avvolgimento creano campi magnetici opposti che si elidono a vicenda. Questo particolare non è necessario per questo ponte, ma per gli altri scopi in cui dette resistenze potranno essere impiegate.

Anche il collegamento tra la cassetta di decadi ed il ponte deve essere effettuato con conduttore di notevole sezione; la migliore soluzione consiste nell'adottare due piattine di ottone argentato da 5×10 mm di sezione, provviste di fori per il fissaggio ai morsetti *Rs* ed ai morsetti *Rx*.

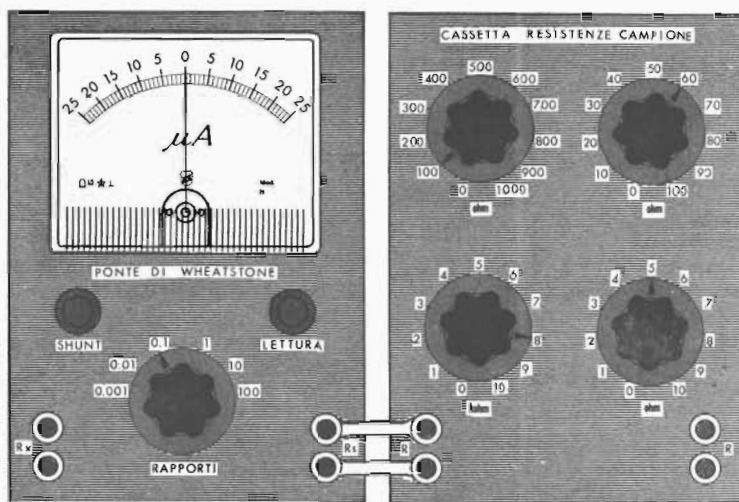
Fig. 3 — Piano di foratura del pannello del ponte. Le quote sono espresse in millimetri.

Si eseguirà la foratura dei due pannelli secondo le quote indicate alle **figure 3** e **4**. Mentre è economico e comodo che le cassette siano in lamiera di ferro da 1 mm di spessore, i pannelli è utile siano in alluminio. Verniciatura e diciture dipendono dai gusti del costruttore: solitamente si ricorre ad una verniciatura alla nitrocellulosa (opaca o lucida) con diciture pantografate, oppure a stampa riportata su targhette protette da celluloide.

Nel collocamento e nel fissaggio dei diversi componenti, si lasceranno per ultime le resistenze e lo strumento. Le resistenze saranno sostenute da un lato, e spesso anche dai due lati, dalle linguette di collegamento dei commutatori e risulteranno così prossime ai contatti nonchè stabilmente fissate. Lo strumento sarà cortocircuitato sempre tra i suoi morsetti a mezzo di un qualsiasi collegamento volante che sarà tolto solo ad apparecchiatura finita, allorchè saranno in circuito *IP2* ed *R6*.

I collegamenti — come si è già detto — usufruiscono di filo di rame argentato, semirigido. È comodo adottare la tecnica del collegamento sterlingato: saldato un lato del filo al punto in cui esso deve essere collegato, si infila sul filo stesso il tubetto sterlingato adatto al suo diametro. Si misura sommariamente il percorso che quel collegamento deve compiere e si tronca filo e tubetto per la opportuna lunghezza: il tubetto sarà poi leggermente accorciato per consentire l'operazione di saldatura dell'altro capo del filo.

Fig. 4 — Piano di foratura del pannello della cassetta di resistenze campione. Le quote sono espresse in millimetri.

Fig. 5 — Tipo di commutatore da adottare per C1 - C2 - C3 - C4.

Fig. 6 — Assieme dello strumento completo. I commutatori sono predisposti in una posizione di lettura R_X corrispondente a quella indicata nello schema elettrico (figura 2), vale a dire 8165: però, mentre sullo schema elettrico il commutatore dei rapporti è in seconda posizione, qui è in terza, e si ha quindi, nel primo caso 8165 × 0,01 = 81,65 ohm e nel presente caso 8165 × 0,1 = 816,5 ohm.

I collegamenti non sono molti ed è difficile sbagliare: a buon conto, chi fosse ai suoi primissimi montaggi può trovare molto pratico segnare in qualche modo sullo schema di figura 2 i collegamenti mano a mano che gli stessi vengono effettuati.

Si consiglia un fissaggio ben fermo tra manopole e alberi di comando dei commutatori: all'uopo sarà bene praticare una profonda tacca, con una lima, sull'albero stesso. In detta tacca dovrà introdursi la vite di arresto della manopola.

ISTRUZIONE d'USO

Se il montaggio ed il cablaggio dell'intero strumento sono stati eseguiti con i necessari accorgimenti, non occorre alcuna messa a punto prima dell'uso. L'apparecchio è infatti pronto per eseguire misure di resistenze comprese entro le sue portate. Esso si presta a due impieghi fondamentali: la misura di resistenze già esistenti, con precisione che può raggiungere lo 0,1%, e la costruzione di resistenze « tarate ». Il secondo impiego costituisce lo scopo principale per il quale suggeriamo la costruzione.

In ogni caso la misura deve essere effettuata come segue: la resistenza di valore incognito da misurare deve essere collegata tra i morsetti contrassegnati « *Rx* », facendo attenzione che i contatti siano perfettamente puliti, ed assicurati dalla pressione massima. Si inserisce anche la cassetta di decadi ai relativi morsetti (con i medesimi accorgimenti onde assicurare un perfetto contatto).

Il commutatore di portata (selettore dei rapporti) deve essere messo su una posizione qualsiasi, e dopo aver effettuato le manovre che seguono, deve essere messo alternativamente sulle altre portate disponibili ripetendo ogni operazione fino a che si ottiene la portata esatta. Naturalmente, nel caso che si debbano misurare resistenze preesistenti — il cui valore ohmico approssimativo sia già noto — è possibile predisporre il ponte su tale valore impiegando così un tempo notevolmente più ridotto per ottenere il bilanciamento e per conoscere quindi il valore esatto.

Tenendo premuto il pulsante di lettura, si ruotano una alla volta le quattro manopole delle decadi — iniziando da quella delle « migliaia » — finchè l'indice dello strumento dalla posizione laterale si porta in quella centrale, cioè in prossimità dello zero. Se lo spostamento di detto indice è verso destra, occorrerà aumentare il valore di *Rs*, e viceversa.

Una volta ottenuto l'azzeramento approssimativo, si elimina la resistenza di protezione (*R6*) premendo il pulsante « shunt » e cioè *IP2*, e premendo ancora il pulsante di lettura per un istante, dopo ogni variazione, si agisce prima sulla manopola delle unità e, se non basta, si ritocca il valore delle decine, fino ad avere l'indicazione di zero perfetto allorchè si preme il pulsante « lettura ». In tal modo il ponte è bilanciato, ed il valore di *Rx* sarà dato dalla indicazione delle quattro manopole delle decadi, moltiplicato per il fattore di moltiplicazione indicato dal commutatore di portata.

Ad esempio, con una indicazione (come da figura 2) da parte delle decadi di 8 migliaia, 1 centinaio, 6 decine e 5 unità (8.165), il valore di *Rx* sarà di 816.500 ohm con rapporto « × 100 »; 81650 ohm con rapporto « × 10 »; 8.165 ohm con rapporto « × 1 »; 816,5 ohm con rapporto « × 0,1 »; 81,65 ohm con rapporto « × 0,01 » e infine 8,165 ohm con rapporto « × 0,001 ».

Nel caso che si debba invece costruire una resistenza, è necessario predisporre il ponte sul valore desiderato, agendo sia sulle decadi che sul commutatore di portata, dopo di che si taglierà il filo col quale la resistenza deve essere avvolta ad una lunghezza approssimativamente esatta e leggermente abbondante. Ciò è possibile in quanto le fabbriche di tali conduttori per resistenze forniscono i dati di resistenza specifica in ohm per metro, per ogni tipo di conduttore. Una volta applicati ai morsetti *Rx* i terminali di tale filo, si effettua la lettura e, staccandolo ogni volta da un solo terminale, lo si accorcia gradatamente, tagliando quantità sempre più piccole, fino ad avere l'azzeramento perfetto. È indispensabile prestare la massima attenzione a non superare il punto critico negli accorciamenti, in quanto se l'accorciamento è eccessivo, non è più possibile effettuare una aggiunta. Questo naturalmente nel caso in cui si debbano costruire resistenze di grande precisione da impiegare negli strumenti di misura.

Alcune prove effettuate con resistenze qualsiasi, anche chimiche, saranno opportune ed utili per acquistare l'esperienza sufficiente ad utilizzare lo strumento nel modo dovuto.

Saranno argomento di questo Corso, tra l'altro: **i transistori** questi nuovi, rivoluzionari organi delle più recenti realizzazioni dell'elettronica. L'impiego dei transistori si estende rapidamente: sono già numerosi i ricevitori e gli amplificatori in commercio che ne sono dotati e il loro numero è indubbiamente destinato ad accrescersi perchè i transistori sostituiranno con ampia percentuale, le valvole termoioniche. E' perciò necessario che il radiotecnico li conosca, sappia applicarli, si renda conto di quanto e di come differiscano dalle valvole, sia aggiornato nei tipi e nelle caratteristiche. Saranno descritti numerosi montaggi di ricevitori, trasmettitori e dispositivi elettronici da realizzare con l'impiego di transistori.

La modulazione di frequenza o F.M., come viene correntemente definita, è il sistema di trasmissione radiofonica che in questi ultimi anni è venuto ad affiancarsi a quello classico della modulazione di ampiezza. Che cosa sia la F.M., quali caratteristiche presenti, come funzionino e si realizzino i ricevitori per F.M. sarà ampiamente detto durante lo svolgimento del Corso. Oramai anche i ricevitori più economici sono caratterizzati dalla possibilità di ricezione della modulazione di frequenza: il radioamatore, e più ancora il radioriparatore, devono perciò rendersi pienamente consci della tecnica relativa, degli schemi, e dei particolari circuiti.

Un'altra tecnica in piena evoluzione è quella dell'**Alta Fedeltà.** Le esigenze per ciò che riguarda la fedeltà di riproduzione sonora sono notevolmente aumentate. Il materiale relativo alla sezione di Bassa Frequenza di molti ricevitori nonchè quello di appositi amplificatori, rivelatori e riproduttori si è andato e si va vieppiù affinando e perfezionando; ne risultano nuove tecniche, nuove disposizioni circuitali, nuovi accorgimenti che è duopo conoscere. Citiamo in proposito **la registrazione magnetica** che ha visto un rapido espandersi dei magnetofoni, cui fa riscontro, nella battaglia tra il nastro e il disco, il microsolco. Ora, entrambi hanno affinata la loro tecnica con la **riproduzione stereofonica.**

In questi ultimi tempi hanno fatto la loro comparsa ricevitori e amplificatori montati secondo il sistema dei **circuiti stampati.** Si tratta di pannelli caratterizzati dal fatto che i collegamenti necessari all'unione dei vari componenti sono già esistenti sul pannello stesso, sotto forma di un conduttore che viene ricavato seguendo alcune fasi della tecnica di stampa. E' evidente che un tale sistema — adottato anche parzialmente, e cioè in sole sezioni di un complesso — reca riduzioni di costo notevoli se l'apparecchio viene prodotto in grande serie. E' intuitivo anche che il tecnico debba d'ora in poi sapere quali sono i punti delicati e come ci si debba comportare nei confronti di questo nuovo metodo realizzativo. Il nostro Corso, al momento opportuno, affronta l'argomento e lo illustra nei suoi più minuti dettagli.

Una tra le più allettanti attività in campo radio è quella della **trasmissione dilettantistica.** Chiunque può ottenere la licenza di trasmissione previo un facile esame su argomenti e materia che il nostro Corso ampiamente espone ma esso, in proposito, non si limita alla preparazione per il superamento dell'esame: riporta descrizioni di trasmettitori e ricevitori appositi da realizzarsi, riporta le norme che regolano l'attività, le caratteristiche dei materiali idonei, indirizzi, prefissi, abbreviazioni, ecc. Va ricordato che questa della trasmissione, cioè delle comunicazioni a distanza tra amatori di tutto il mondo, è la forma più suggestiva e appassionante di attività radiotecnica; è proprio tale attività che assai spesso porta alla formazione dei più abili tecnici, come ampiamente l'esperienza dimostra. E' pertanto un passatempo del più alto valore istruttivo che molto spesso contribuisce anche al nascere di amicizie e relazioni con radioamatori di tutti i continenti.

Una forma particolare di detta attività può considerarsi poi il **radiocomando.** Anche in questo ramo sono numerosi gli appassionati. L'argomento non sarà quindi dimenticato nè per chi ha pratica di questa tecnica nè per chi ad essa vuole dedicarsi.

Ovviamente, un'importanza notevole riveste il settore degli strumenti e delle **apparecchiature di misura.** Senza di esse ogni attività e ogni nozione si può dire risulti vana e monca, nel nostro campo: il progettista quanto l'amatore, il riparatore quanto l'installatore e lo stesso commerciante evoluto, hanno necessità di eseguire controlli di efficienza, misure di rendimento, accertamenti, rilievo e ricerca di guasti, tarature, messe a punto ecc. e tutto, è noto, si svolge con l'ausilio degli apparecchi di misura. Naturalmente, per ogni categoria vi sono gli strumenti più indicati e noi di essi forniremo i dati costruttivi, la tecnica di impiego nonchè le norme d'uso sia per i singoli tipi, sia per i diversi impieghi. Tratteremo così della **taratura** e della **ricerca dei guasti**.

E' noto che i laboratori di ricerca applicata più progrediti e più famosi nel mondo sono quelli delle grandiose industrie statunitensi. Dall'U.S.A. ci provengono le notizie delle scoperte più sensazionali in campo radio e tutti quei nuovi dati, quelle norme e quegli schemi che alla scoperta fanno seguito allorchè questa passa alla fase di pratica attuazione e sfruttamento. Orbene, mentre può essere della più grande utilità per un tecnico conoscere la lingua inglese e seguire direttamente sulle riviste americane il progresso, non è detto che chi tale lingua non conosce, non possa sufficientemente interpretare schemi e brevi norme, solo che abbia la possibilità di ricorrere ad un **vocabolario tecnico dall'inglese all'italiano.** Pubblicheremo perciò, su ogni fascicolo, due pagine di vocaboli e termini tecnici con la relativa traduzione e siamo certi che ciò potrà più di una volta tornare utile anche a chi già conosce la lingua inglese.

E veniamo, in ultimo, ad un argomento che certamente il lettore si sarà meravigliato di non aver visto accennato prima: **la televisione.** A questo proposito il nostro programma è quanto mai impegnativo: esso è tale che non ci è consentita per il momento alcuna indiscrezione, soprattutto perchè sulla televisione serbiamo al lettore che ci vorrà seguire per qualche mese una importante e, siamo certi, graditissima sorpresa.

IMPORTANTE! :: se vi interessano i prossimi fascicoli datene subito avviso al vostro giornalaio!

**Per un anno,
a domicilio,
un completo Corso
che vi costa
un decimo
di tutti gli altri Corsi**

**Vi formerete
un volume
di ben 1248 pagine:
un prezioso
manuale-enciclopedia
di elettronica**

corso di RADIOTECNICA

pubblicazione settimanale - 19-26 novembre 1960 - un fascicolo lire 150 8° numero

corso di
RADIOTECNICA

settimanale a carattere culturale

Direzione, Amministrazione, Pubblicità:
Via dei Pellegrini 8/4 - Telef. 593.478
MILANO

Ogni fascicolo — contenente 3 lezioni — costa lire 150, acquistato alle edicole.

Se l'edicola risulta sprovvista, o si teme di rimanere privi di qualche numero, si chieda invio settimanale direttamente al proprio domicilio a mezzo abbonamento.

Il versamento per ricevere i 52 fascicoli costituenti l'intero Corso è di lire 6500 + I.G.E. = lire 6630. A mezzo vaglia postale, assegno bancario, o versamento sul conto corr. postale 3/41.203 del « Corso di RADIOTECNICA » - Via dei Pellegrini 8-4 - Milano.

In ogni caso, scrivere in modo molto chiaro e completo il proprio indirizzo.

L'abbonamento può essere effettuato in qualsiasi momento; si intende comprensivo delle lezioni pubblicate e dà diritto a ricevere tali lezioni, che saranno inviate con unica spedizione.

Estero: abbonamento al Corso, Lit. 8.500. ($ 15). Numeri singoli Lit. 300 ($ 0,50).

Per i cambi di indirizzo durante lo svolgimento del Corso, unire lire 100, citando sempre il vecchio indirizzo.

Fascicoli singoli arretrati — se disponibili — possono essere ordinati a lire 300 cadauno.

Non si spedisce contrassegno.

Distribuzione alle edicole di tutta Italia: Diffus. Milanese . Via Soperga, 57 - Milano.

Direttore responsabile: Giulio Borgogno.

Autorizzaz. N. 5357 - Tribunale di Milano.

Stampa: Intergrafica S.r.l. - Cologno Monzese.

La Direzione non rivende materiale radio; essa può comunicare, se richiesta, indirizzi di Fabbricanti, Importatori, Grossisti ecc. in grado di fornire il necessario ed ai quali il lettore può rivolgersi direttamente.

Alla corrispondenza con richiesta di informazioni ecc. si prega allegare sempre il **francobollo per la risposta.**

Parte del testo e delle illustrazioni è dovuta alla collaborazione del Bureau of Naval Personnel, nonchè al Dept. of the Army and the Air Force - U.S.A.

A chi può essere utile questo Corso? Anzitutto — stante la sua impostazione — il Corso, basato sull'esposizione in forma a tutti accessibile, della radiotecnica, dai suoi elementi basilari alla evoluzione più recente, rappresenta la forma ideale per tutti coloro che intendono dedicarsi all'elettronica, sia come forma ricreativa sia — soprattutto — per l'acquisizione di una professione specializzata che possa procurare loro una posizione di privilegio in seno alla società odierna.

Anno per anno, la nostra civiltà si indirizza sempre più verso questa meravigliosa, si potrebbe dire fascinosa, elettronica, che nel modo più evidente consente sviluppi impensati, progressi grandiosi e una rapida evoluzione di tutti gli altri rami dello scibile che essa tocca e influenza.

L'industria, tutta l'industria, nel senso più ampio, da quella elettrotecnica a quella meccanica, alla metallurgica, alla chimica ecc., con i suoi laboratori di ricerca e le sue fabbriche richiede, e richiederà sempre più, con un ritmo rapidamente crescente, tecnici specializzati con conoscenza dell'elettronica, tecnici specificatamente elettronici e persino operai e impiegati di ogni ordine e categoria con cognizioni di elettronica.

Si può dire che anche le branche commerciali, quelle dei trasporti e persino quelle amministrative con le recenti introduzioni delle calcolatrici, abbisognano di personale che conosca i principi dell'elettronica, le macchine relative, il loro pieno sfruttamento, la eventuale riparazione ecc. e, quanto più in modo completo, quanto meglio.

Nasce, da una tale situazione, una logica conseguenza: per la scelta di una professione o di un mestiere, per un miglioramento della propria posizione sociale, per l'intrapresa di una libera attività o anche per la sola acquisizione di cognizioni che indubbiamente verranno oltremodo utili, è quanto mai opportuno riflettere se non sia conveniente dedicare un po' di tempo allo studio di questa scienza che ha tra l'altro il pregio di rendersi immediatamente attraente, concreta, accessibile e foriera di moltissime soddisfazioni.

A questo scopo appunto, e con questi intenti, è stato redatto questo Corso.

Non mancano invero altri corsi (specie per corrispondenza) o scuole di radiotecnica, nè mancano (sebbene siano in numero del tutto inadeguato) scuole statali o pareggiate ma la struttura e l'impostazione che caratterizzano queste 156 lezioni sono alquanto particolari, presentando non pochi vantaggi sulle diverse altre forme di cui si è detto.

Anzitutto vogliamo porre in evidenza **il fattore economico.**

Frequentare regolarmente, durante tutto l'anno, una scuola è certo il modo più logico — anche se non il più rapido — per apprendere ma, tralasciando il fatto che rarissimi sono gli Istituti di radiotecnica, è a tutti possibile dedicarsi esclusivamente, e per l'intero anno, allo studio? Noi riteniamo che chi può farlo costituisca oggi assai più l'eccezione che la regola. Ciò significa infatti poter disporre liberamente del proprio tempo senza avere la necessità di un contemporaneo guadagno: il nostro Corso permette a chiunque di studiare a casa propria, nelle ore libere dal lavoro, senza abbandonare o trascurare quest'ultimo. Ciò caratterizza invero anche altri corsi, ma il vantaggio economico diviene notevole ed evidentissimo se si considera che di fronte all'esborso, anche se rateale, di quasi 80.000 lire che i corsi per corrispondenza richiedono, seguendo il nostro Corso la spesa in un anno risulta di poco più di 7500 lire (150 lire alla settimana presso un'edicola) o di 6630 lire totali, con recapito postale, settimanale, delle lezioni a domicilio.

E' superfluo dire che la Modulazione di Frequenza, i transistori, i circuiti stampati, la trasmissione, il telecomando ecc. sono argomenti integrali del Corso e non costituiscono motivo di corsi speciali, aggiunti o particolari.

Le lezioni di questo Corso — a differenza di molte altre — non sono stampate con sistemi di dispensa, a ciclostile, o con sistemi più o meno analoghi, derivanti cioè da un originale battuto a macchina da scrivere; esse sono stampate in uno stabilimento grafico, con chiari caratteri tipografici da cui deriva una assai più agevole lettura e — fattore certamente di non secondaria importanza — un contenuto molto più ampio, corrispondendo una pagina a stampa a tre o quattro pagine di quelle citate. Il lettore avrà, alla fine del Corso, un volume di ben 1248 pagine di grande formato!

Chiunque, indipendentemente dall'età, dalla professione e dalle scuole compiute **può seguire il Corso.** Alle esposizioni teoriche si abbinano numerose, attraenti, istruttive ed utili descrizioni che consentono la realizzazione di ricevitori, amplificatori, strumenti vari e persino di trasmittenti su onde corte.

A questo proposito è sintomatico il fatto che la Direzione non vuole assolutamente assumere la fisionomia di un fornitore o commerciante di materiale radio, rivendendo agli allievi le parti necessarie. Il materiale occorrente l'interessato può acquistarlo dove e come meglio crede e, assai spesso anzi, già ne dispone. Viene così evitato l'acquisto forzoso, caratteristico più o meno di tutti gli altri corsi.

Anche chi è già radiotecnico, anche chi ha seguito o segue altri corsi troverà il massimo tornaconto in questo completo ed aggiornato lavoro. Molte nozioni, è logico, saranno note, altre un po' meno e sarà utile rinfrescarle, e il tutto infine costituirà un manuale di consultazione, prezioso tanto per la teoria esposta quanto per i numerosi schemi, per le tabelle, per i grafici, gli elenchi, i dati, il vocabolario dei termini ecc.

Concludendo, si può affermare che questo **Corso di Radiotecnica** oltre che come insegnamento graduale si presenta come **enciclopedia e rivista assieme** ciò che permette di formare — con modestissima spesa — **il più completo, ricco, utile e pratico volume di radiotecnica di cui sia dato oggigiorno disporre.**

LA CORRENTE ALTERNATA

La corrente alternata non è che una corrente elettrica che scorre dapprima in una data direzione — per un determinato tempo — e quindi in senso opposto, per un medesimo tempo.

A differenza della corrente continua (**figura 1A**), la quale raggiunge un certo valore o ampiezza in breve e la mantiene per tutto il tempo in cui il circuito rimane chiuso, la corrente alternata cambia continuamente la sua ampiezza.

Partendo dal valore zero, essa raggiunge il suo massimo valore nella direzione positiva per poi tornare a zero, (ossia al punto in cui la corrente cessa di scorrere), dopo di che scende al massimo valore nella direzione negativa, per poi tornare nuovamente a zero, (**figura 1B**). Per questo motivo si dice che la corrente alternata è una corrente che varia continuamente di ampiezza (assumendo cioè tutti i valori intermedi interposti tra il massimo positivo ed il massimo negativo), e che varia periodicamente, ossia ad intervalli regolari. Il lettore non è nuovo a questo concetto: egli ricorderà certamente quanto si è visto, addirittura alla prima lezione, in merito alle oscillazioni, sia di natura meccanica che di natura elettrica. Tali oscillazioni (quelle elettriche) sono appunto espressioni — è superfluo dirlo — di corrente alternata, a frequenza (inversione di polarità) elevata.

Sebbene la corrente continua sia stata la prima ad essere diffusa e conosciuta nelle sue caratteristiche, le sue applicazioni per l'alimentazione diretta degli apparecchi elettrici e dei circuiti elettronici sono limitate; viene usata soltanto in determinate circostanze e cioè con ricevitori o trasmettitori portatili, apparecchi a transistori ecc. ove è generata direttamente da pile. D'altro canto, le caratteristiche della corrente alternata non furono perfettamente comprese che verso la fine del secolo scorso, per cui il suo impiego come sorgente di energia costituisce il campo di sviluppi relativamente recenti.

A tutta prima la corrente continua — intendiamo riferirci alle applicazioni industriali — parve avere una maggiore versatilità che non la corrente alternata, tuttavia, ben presto si rese evidente il fatto che la corrente continua presentava certi svantaggi che non rientravano invece nelle caratteristiche della seconda. Ecco un breve elenco di tali inconvenienti.

1) La corrente continua non può essere portata a lunga distanza senza una considerevole perdita di potenza. Infatti, la resistenza totale dei cavi presenti tra il punto di origine e quello di utilizzazione dissipa la maggior parte della potenza in calore, prima che la corrente arrivi a destinazione. Per contro, la corrente alternata può essere portata a lunga distanza senza perdite apprezzabili — sotto forma di alta tensione e bassa corrente — sulle linee di alta tensione oggi familiari, per essere poi trasformata sul posto di utilizzazione in tensione e corrente adatte per l'impiego nelle case e nelle fabbriche.

2) La corrente continua non può essere irradiata da un'antenna. E qui ci richiamiamo ancora ai concetti già esposti (lezione 1ª e 7ª) per illustrare le onde elettromagnetiche, la loro generazione nei circuiti oscillatori e la trasmissione e ricezione radio.

L'intero sviluppo della scienza delle radiotrasmissioni, secondo l'attuale conoscenza, dipende evidentemente dall'attitudine da parte della corrente alternata ad essere irradiata nello spazio da un'antenna e ad essere proiettata a grande distanza sulla superficie della terra.

Fu presto chiaro come la corrente alternata rappresentasse una fonte di energia molto più comoda della corrente continua, specialmente in considerazione del fatto che essa può essere convertita nella seconda — ove opportuno — con una certa facilità. La conversione della corrente continua in corrente alternata, sebbene altrettanto possibile, non è spesso nè facile nè conveniente.

Quanto sopra tuttavia, non significa che la corrente continua non presenti, anche industrialmente alcun interesse e sia, in altre parole, inutile: esistono casi, come vedremo, in cui essa è, se non l'unica, certamente la fonte di energia più adatta: ad esempio, nelle installazioni mobili sulle vetture e sugli aereoplani, ove la sorgente di energia è rappresentata dagli accumulatori, già dettagliatamente descritti nella nostra 11ª lezione.

INDUZIONE ELETTROMAGNETICA

Il primo tipo di energia elettrica fu, come si è detto, la corrente continua, generata da pile o da batterie; nel 1819 H.C. Oersted, fisico danese, mentre effettuava esperimenti con detto tipo di corrente, scoprì incidentalmente che un conduttore percorso dalla corrente influenzava l'ago di una bussola e costituiva quindi, di per se stesso, un magnete. Nacque così l'elettromagnete, in tal modo definito per distinguerlo dal magne-

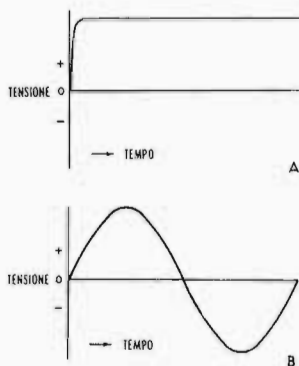



Fig. 1 — La corrente continua mantiene la sua ampiezza (A), quella alternata la cambia continuamente (B).

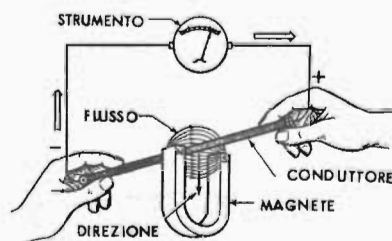
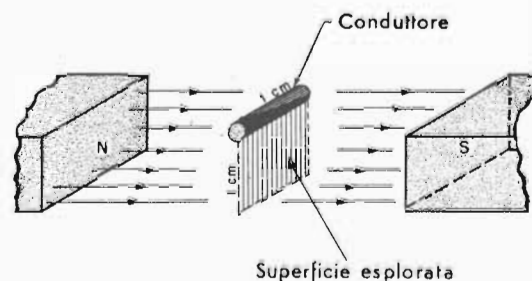



Fig. 2 — Un conduttore mosso tra le espansioni polari di un magnete, viene percorso da una corrente che cambia di senso per un movimento in senso opposto del conduttore stesso: si genera così corrente alternata.

Fig. 3 — Se il conduttore è lungo 1 cm e si muove verticalmente verso il basso alla velocità di 1 cm al secondo, descrive una superficie di 1 cm² che è attraversata dalle linee di forza del magnete.

te naturale o artificiale, ed è importante notare che, in entrambi i casi, le linee di forza magnetica e il campo magnetico circostante ad un conduttore percorso da corrente sono della stessa natura di quelle prodotte da un magnete naturale. Abbiamo già dettagliatamente visto i fenomeni dell'elettromagnete alla nostra 13ª lezione.

La scoperta di Oersted rivelò che l'elettricità ed il magnetismo erano in stretti rapporti in quanto entrambi potevano essere impiegati per prodursi l'un l'altro, tuttavia, non fu che nel 1831, ossia dodici anni più tardi, che M. Faraday in Inghilterra, e G. Henry in America furono in grado di dimostrare che era possibile utilizzare un magnete per produrre in modo pratico la corrente elettrica. Ricordiamo in proposito quanto già esposto sul funzionamento della dinamo alla lezione 14ª.

Faraday, nei suoi esperimenti, oggi classici, collegò un galvanometro sensibile ai capi di un avvolgimento, e trovò che quando un magnete veniva inserito nell'avvolgimento stesso, questo veniva percorso da corrente, e che quando lo si estraeva, si aveva un passaggio di corrente in senso opposto. Inoltre, il passaggio di corrente si verificava soltanto mentre il magnete era in movimento, ossia quando le linee forza presenti intorno al magnete incrociavano i fili dell'avvolgimento. Oltre a ciò fu dimostrata anche la condizione opposta, ossia: se si teneva fermo il magnete e si faceva muovere l'avvolgimento, si produceva il medesimo fenomeno. In tal modo veniva prodotta per la prima volta la corrente alternata. La **figura 2** illustra il principio nel caso di un conduttore singolo e delle espansioni polari di una calamita a ferro di cavallo.

AMPIEZZA della FORZA MOTRICE INDOTTA

Si è trovato che la tensione o forza elettromotrice (f.e.m.) prodotta è tanto maggiore quanto maggiore è la velocità del movimento ed anche quanto maggiore è l'intensità del campo magnetico.

Da tali osservazioni è facile concludere che l'ammontare della f.e.m. prodotta dipende dal numero delle linee magnetiche tagliate dal conduttore dell'avvolgimento in una data unità di tempo — per cui — per aumentare la f.e.m., è necessario o aumentare la velocità del movimento o il numero delle linee di forza mediante l'impiego di un magnete più forte. Ciò può essere riassunto dalla seguente legge: **la f.e.m. indotta in un conduttore mobile è proporzionale al numero delle linee magnetiche di flusso tagliate in un minuto secondo dal conduttore.**

Per esprimere la f.e.m. in volt, ossia in unità pratica di misura, invece che in unità del sistema elettromagnetico c.g.s. (centimetro-grammo-secondo) è necessario moltiplicare il numero delle linee di forza per il fattore 10^{-8}, come dalla seguente formula:

f.e.m. indotta (in volt) = linee tagliate al secondo × 10^{-8}

Primo esempio. Supponiamo che i poli del magnete della **figura 3** producano una densità di flusso di 10^9 linee per centimetro quadrato, che il conduttore abbia la lunghezza di un centimetro e si muova verticalmente verso il basso, alla velocità di un centimetro al secondo. La tensione indotta nel conduttore può essere calcolata come segue:

1) la superficie descritta dal conduttore, ad angolo retto rispetto alle linee di forza, in un secondo, corrisponde al prodotto della lunghezza del conduttore per la lunghezza del percorso, ossia, nel nostro caso, ad 1 cm²; tale area è quella tratteggiata nella figura. Il numero di linee che la attraversano è dato dal prodotto della superficie per il numero delle linee per cm², ossia

$$1 \text{ cm}^2 \times \frac{10^9 \text{ linee}}{\text{cm}^2} = 10^9 \text{ linee}$$

quindi 10^9 linee tagliate in un secondo dal conduttore.

2) la tensione e indotta nel conduttore è data da

$$e = \frac{10^9 \text{ linee}}{\text{sec}} \times 10^{-8} = 10 \text{ volt}$$

Dal punto di vista meccanico è scomodo produrre una corrente alternata muovendo un magnete rispetto ad una bobina o viceversa, ma si può già realizzare un semplice generatore di corrente alternata *facendo ruotare* un avvolgimento, di un'unica spira, in un campo magnetico fisso: in tal modo è possibile un movimento continuo e uniforme. La direzione della f.e.m. indotta si inverte col girare della spira, in quanto, *quando il conduttore si muove in una data direzione, la tensione indotta ha un senso, e, non appena si muove in direzione opposta si inverte il senso della tensione indotta.*

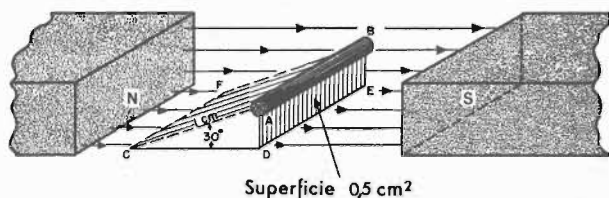



Fig. 4 — Se il conduttore si sposta in senso obliquo anzichè verticale, il numero di linee di forza tagliate è minore: per un angolo di 30° la superficie si riduce alla metà rispetto a quella di Fig. 3.

Fig. 5 — Spostamenti orizzontali non tagliano alcuna linea.

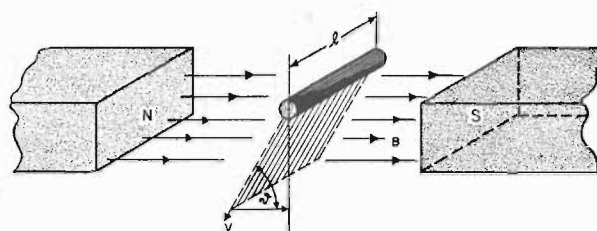



Fig. 6 — Elementi della formula per calcolare la f.e.m. indotta.

Tuttavia, prima di considerare un metodo per determinare la direzione di tale f.e.m. indotta è necessario fare un riferimento agli effetti sull'ampiezza dovuti alla rotazione della bobina. L'esempio che segue illustrerà il fatto che il conduttore mobile taglia un numero minore di linee magnetiche muovendosi ad angolo retto rispetto ad esse che non quando si muove in direzione obliqua.

Secondo esempio. Supponiamo che il medesimo conduttore impiegato nel primo esempio venga ora mosso con la medesima velocità di 1 cm al secondo, ma in direzione tale da formare un angolo di 30°, rispetto alle linee magnetiche (**figura 4**).

Troviamo la f.e.m. indotta nel conduttore. L'area percorsa dal conduttore in 1 secondo è tratteggiata nella figura, ed è eguale al prodotto tra la lunghezza del conduttore stesso e la lunghezza dello spostamento, ossia ancora 1 cm². Le linee di flusso che attraversano tale area vengono tagliate dal conduttore in 1 secondo, ma è evidente, osservando la figura, che il numero di linee tagliate è ora inferiore a quello delle linee tagliate col movimento verticale. Il numero massimo di linee intersecate si ottiene infatti quando il conduttore si muove dall'alto in basso o viceversa. Per trovare la tensione indotta con uno spostamento a 30°, è necessario trovare il numero delle linee tagliate in 1 secondo, e ciò può essere fatto nel modo seguente:

1) Anzitutto costruire il triangolo rettangolo *ACD* come mostrato nella figura 4. L'ipotenusa di tale triangolo, *AC*, ha la lunghezza di 1 centimetro in quanto costituisce lo spostamento noto e stabilito per il nostro esempio e così è anche per l'angolo che è di 30°. Dallo studio della trigonometria (della quale, nella lezione 24ª, esponiamo i princìpi fondamentali, cui faranno seguito gli argomenti integrativi in una successiva lezione), apprendiamo che la lunghezza del lato *AD* può essere ottenuta come segue:

$$Sen\ 30° = AD : AC$$

Dalle tavole trigonometriche (vedi pag. 190) sappiamo che *Sen* 30° è eguale a 0,5

$$\text{per cui } 0{,}5 = AD : AC$$

Sostituendo il valore noto di 1 centimetro per il lato *AC* otteniamo:

$$0{,}5 = AD : 1 \text{ cm}$$

e moltiplicando in croce: $0{,}5 \times 1 \text{ cm} = AD$
da cui $AD = 0{,}5 \times 1$ ossia $AD = 0{,}5$ cm

2) Costruire ora il rettangolo *ABED* facendo in modo che *BE* sia parallelo con *AD*, e ne abbia la medesima lunghezza, e che *DE* sia parallelo ed opposto ad *AB* (figura 4).

In tal modo abbiamo un rettangolo della lunghezza di 1 centimetro e della larghezza di 0,5 cm, per cui l'area equivale a 1 × 0,5, ossia 0,5 cm².

3) Dall'esame della figura, appare evidente che tutte le linee di forza che attraversano il quadrato *ABFC*, provengono dal rettangolo *ABED*, per cui il numero delle linee di forza tagliate dal conduttore equivale a quello che attraversa l'area di 0,5 cm².

4) Il numero di linee di forza che attraversano la area *ABED* è dato dal prodotto della superficie in cm² per il numero di linee per cm², ossia

$$\frac{0{,}5 \text{ cm}^2 \times 10^9 \text{ linee}}{\text{cm}^2} = 0{,}5 \times 10^9 = 5 \times 10^8 \text{ linee}$$

5) La tensione indotta nel conduttore è quindi:

$$5 \times 10^8 \text{ linee} \times 10^{-8} = 5 \text{ volt}$$

in cui 10^{-8} è il fattore di moltiplicazione, come abbiamo già visto, usato per convertire in volt la f.e.m. indotta.

Da quanto detto, si nota che la tensione indotta in un conduttore che si muove verticalmente attraverso le linee di forza è maggiore di quella indotta nel medesimo conduttore che si sposta in direzione formante un angolo di 30° rispetto a quella delle linee stesse.

Si può anche facilmente comprendere ora che la f.e.m. indotta in un conduttore che si muove in direzione parallela al campo magnetico è zero. A questo proposito si osservi la **figura 5**. Appare evidente che, se il conduttore si muove in direzione parallela al campo magnetico, l'area descritta in direzione perpendicolare al campo è nulla, in quanto l'intera area descritta è parallela al campo, il che significa evidentemente che nessuna linea viene tagliata, per cui nessuna tensione viene indotta.

Possiamo, a questo punto, determinare una formula generale che dà un aspetto pratico a tutti i fenomeni descritti sin qui, e che permette di calcolare l'ampiezza della f.e.m. indotta in un conduttore avente lun-

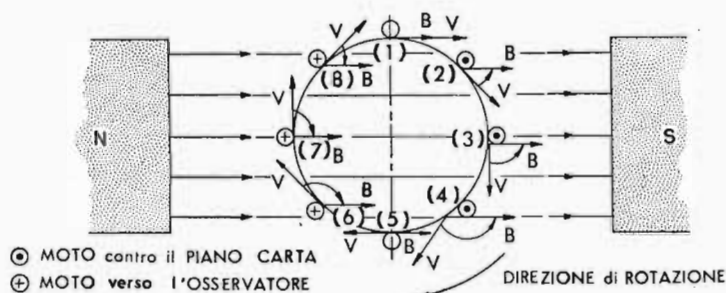



Fig. 7. — Se il conduttore ruota in un campo magnetico costante, la f.e.m. in esso indotta varia di ampiezza a seconda dell'angolo presente tra la direzione di moto e le linee di forza. Il senso della corrente è verso il piano della pagina dalla posizione (1) alla (5), e verso l'osservatore dalla (5) alla (1).

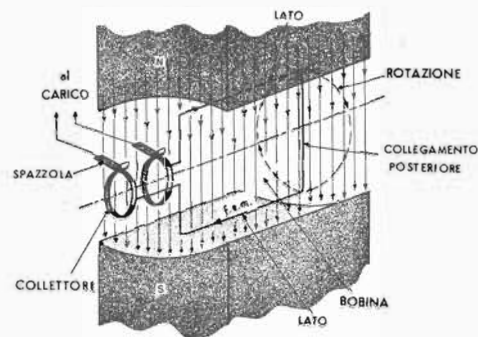



Fig. 8 — La spira rotante, che rappresenta una bobina i cui terminali fanno capo a due anelli di contatto con le spazzole, rende disponibile su queste ultime una corrente alternata.

ghezza *l*, che si muova con velocità *v*, e che si sposti in una direzione formante con quella delle linee di flusso l'angolo ϑ.

La densità di flusso del campo magnetico attraverso il quale il conduttore si muove ha il valore *B*, corrispondente al numero delle linee di forza per cm². La **figura 6** illustra tali quantità.

$$e = B \times l \times v \times Sen\ \vartheta \times 10^{-8}$$

dove:

e = f.e.m. indotta in volt
B = densità di flusso in linee per cm²
l = lunghezza del conduttore in cm
v = velocità del conduttore in cm/sec.
$Sen\ \vartheta$ = angolo del movimento del conduttore rispetto alla direzione delle linee (*).

Riassumendo quanto detto in merito all'ampiezza della f.e.m. indotta in un conduttore che ruota in un campo magnetico, è possibile trarre le seguenti conclusioni:

1) la f.e.m. indotta ha il suo valore massimo quando il conduttore taglia le linee magnetiche a 90° (*Sen* 90° = 1).

2) la f.e.m. indotta è zero quando il conduttore si muove parallelamente alle linee (*Sen* 0° = 0).

3) se il conduttore si muove in una direzione che non è nè perpendicolare nè parallela alle linee magnetiche, la f.e.m. indotta dipende dal senso dell'angolo che la direzione del movimento (detta *vettore velocità*) del conduttore forma con le linee magnetiche; la **figura 7** mostra tale angolo per otto posizioni durante un'unica rotazione.

4) qualsiasi aumento, sia dell'intensità del campo magnetico, sia della lunghezza del conduttore o della sua velocità di movimento nei confronti del campo stesso, provocherà un aumento della f.e.m. indotta.

La direzione della f.e.m. indotta in un conduttore può essere determinata a mezzo di semplici regole; una di queste, tra le più note è la seguente.

Se il pollice, l'indice e il medio della mano destra vengono messi ad angolo retto tra di loro, in modo tale che il pollice indichi la direzione del movimento del conduttore e l'indice la direzione del campo magnetico, il medio indicherà la direzione della f.e.m. indotta, ossia la direzione del terminale positivo. Tale regola si chiama « regola di Fleming della mano destra ».

Alla figura 7 si può osservare l'indicazione della direzione della f.e.m. indotta nella sezione trasversale di un conduttore rotante in un campo magnetico per diverse posizioni del conduttore stesso. La velocità e la densità di flusso sono disegnate in ogni posizione sotto forma di vettori, e la frecce curve denotano la rotazione del vettore *V* verso il vettore *B*. E' importante notare che nelle posizioni di destra (lato del polo Sud), le f.e.m. indotte vanno tutte verso il senso del piano carta, mentre nelle posizioni di sinistra (lato del polo Nord), la direzione della f.e.m. è volta all'esterno rispetto a detto piano (ossia verso l'osservatore).

Nelle posizioni 1 e 5 il conduttore si muove parallelamente al campo, e la f.e.m. generata è nulla, per cui non è indicata alcuna direzione.

La **figura 8** ci dà una più completa visione di quanto abbiamo testè visto nei riferimenti della figura 7. Con la nuova figura possiamo ora renderci conto di come un assieme del genere possa costituire in realtà un vero e proprio generatore di corrente alternata che nel caso in esame viene detto a 2 poli ma, che si può presentare, in altre più complete esecuzioni, come vedremo, anche con 4 o più poli.

Il lettore ha già da tempo appreso nei riguardi delle oscillazioni il concetto di ciclo e periodo; gli risulterà ovvio applicare tale concetto al fenomeno in esame.

La parola stessa, ciclo, indica una rotazione, e se consideriamo un punto di partenza qualsiasi della spira o conduttore, possiamo considerare come ciclo il percorso compiuto da detto punto per ritornare al suo stesso posto, dopo aver descritto l'intera circonferenza. Se però consideriamo l'effetto del campo magnetico sul conduttore che, ruotando, descrive detta circonferenza, notiamo che la f.e.m. indotta assume vari valori compresi tra lo zero — corrispondente ai due punti in cui il movimento è parallelo al campo magnetico — ed il massimo in cui il movimento è perpendicolare.

Partendo ad esempio dal punto (1) (**figura 9**) e ruotando verso sinistra, notiamo che la f.e.m. indotta inizia dal valore 0 in detto punto, raggiunge il valore massimo positivo nel punto (3), ritorna a 0 nel punto

(*) (Il valore di sen ϑ per qualsiasi angolo può essere ottenuto dalle tavole delle funzioni trigonometriche, che pubblichiamo in questo stesso fascicolo).

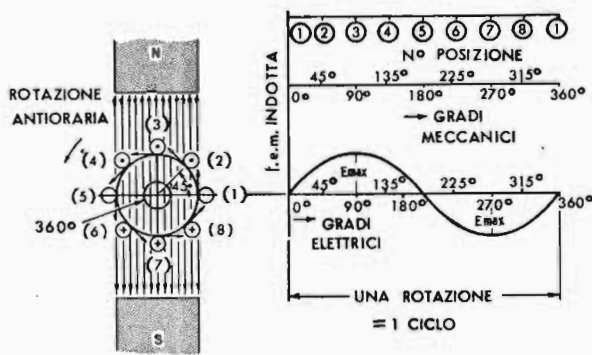



Fig. 9 — Variazioni di ampiezza di una f.e.m. indotta in un conduttore rotante in senso antiorario tra due espansioni polari. Sono indicate le posizioni di rotazione in gradi.

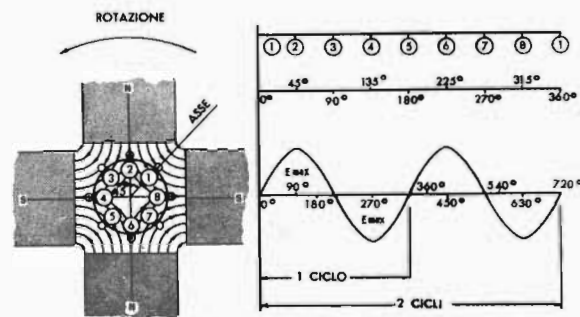



Fig. 10 — Se le espansioni polari sono quattro in luogo di due, in una rotazione si hanno due cicli completi della f.e.m. indotta, in luogo di uno.

(5), raggiunge il massimo valore negativo nel punto (7) e in ultimo torna nuovamente a 0 nel punto (1). La figura 9 illustra anche l'espressione grafica di tale fenomeno, mettendo contemporaneamente in evidenza la forma regolare della tensione generata in una rotazione completa con velocità costante.

Poichè una rotazione completa corrisponde ad un angolo di 360°, è facile dedurre che i vari punti costituenti il risultato dell'andamento, possono essere individuati esprimendo numericamente i gradi corrispondenti al punto di rotazione. La figura o linea che riproduce l'andamento della tensione si chiama **sinusoide**, e rappresenta un ciclo completo o periodo; la linea orizzontale su cui sono riportati i valori in gradi e che corrisponde ai punti in cui la f.e.m. è zero, è detta *isoelettrica* e divide il ciclo in due parti eguali, di cui la parte superiore viene considerata positiva e la parte inferiore negativa. Dette parti, come sappiamo già, si chiamano *semiperiodi* o *semicicli* o *semionde* in quanto ognune di esse corrisponde alla metà di una intera rotazione.

Quanto abbiamo detto si riferisce al funzionamento di un generatore a due poli, e permette di trarre le seguenti conclusioni:

1) la f.e.m. indotta in una bobina rotante in un campo magnetico è una f.e.m. alternata che varia col variare del senso e dell'angolo di rotazione, e viene denominata onda sinusoidale di tensione.

2) la f.e.m. raggiunge il valore massimo quando ogni lato dell'avvolgimento si trova in prossimità del centro di un polo.

3) la f.e.m. è zero quando ogni lato dell'avvolgimento si trova nello spazio che intercorre tra i poli.

4) la polarità della tensione indotta nel lato prossimo al polo Nord è opposta a quella della tensione indotta nel lato prossimo al polo Sud, per cui i valori si sommano formando tensioni di valore *doppio* di quello generato da un lato solo.

5) quando l'avvolgimento ha completato una rotazione meccanica la f.e.m. indotta ha completato un ciclo elettrico.

Abbiamo detto che la rotazione completa di un avvolgimento in un generatore a due poli corrisponde ad un ciclo elettrico; se l'avvolgimento ruota una sola volta al secondo, la frequenza della f.e.m. alternata è di un ciclo al secondo: 10 rotazioni al secondo darebbero una frequenza di 10 cicli al secondo, per cui si può concludere che *la frequenza non è altro che il numero di cicli in un secondo*. In 10 rotazioni l'avvolgimento descrive 10 volte 360°, ossia 3.600° ogni secondo; detti gradi meccanici corrispondono ad altrettanti gradi elettrici nei confronti della tensione indotta, per cui deduciamo che, in un generatore a due poli, un grado meccanico equivale ad un grado elettrico.

Se il generatore ha 4 poli anzichè i due sin qui considerati, qualsiasi punto che si trovi sulla circonferenza descritta nella rotazione viene a trovarsi 4 volte nella posizione corrispondente alla f.e.m. = 0, e 4 volte nella posizione corrispondente al valore massimo, per cui ogni rotazione determina due cicli completi: in altre parole, se la frequenza di rotazione meccanica corrisponde a 10 giri al secondo, la f.e.m. indotta avrà una frequenza di 20 cicli al secondo (**figura 10**).

E' ovvio che per un generatore a 6 poli, un grado meccanico equivale a 3 gradi elettrici, e che per un generatore a 8 poli si ha un rapporto di 1 a 4; ne deriva che per convertire i gradi meccanici in gradi elettrici, i primi devono essere moltiplicati per la metà del numero dei poli, ossia 1° meccanico = $P : 2$ gradi elettrici.

Si deduce anche che la f.e.m. indotta avrà una frequenza di $P : 2$ cicli per ogni rotazione meccanica.

Generalmente il numero dei giri di un generatore è espresso in *g/m* ossia « giri al minuto » (in inglese, rpm = round per minute), e se una bobina compie N giri al minuto, tale valore equivale a $N : 60$ giri al secondo, per cui il numero di cicli al secondo di una f.e.m. indotta equivale a $N : 60$ volte $P : 2$. Dal momento che il numero dei giri è, per definizione, la frequenza del generatore, si ha:

$$f = \frac{P \times N}{2 \times 60} = \frac{P \times N}{120} \text{ cicli al secondo}$$

in cui: f = frequenza della tensione generata

P = numero dei poli $\quad N$ = giri al minuto.

E' opportuno ora che il lettore sappia che i concetti espressi nei riferimenti della corrente alternata — in particolare quelli che seguono — sono validi indipendentemente dal tipo di generatore. Intendiamo dire con

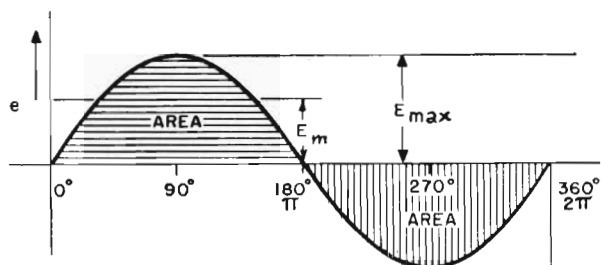



Fig. 11 — Nella rappresentazione di una corrente alternata, si indicano con lettere maiuscole i valori « medi », « efficaci » e « massimi », e con minuscole i valori istantanei.

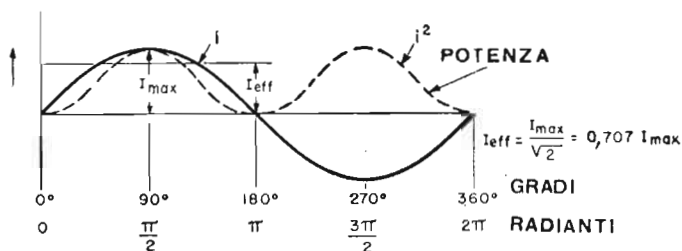



Fig. 12 — La potenza sviluppata da una corrente alternata può essere rappresentata con una curva, le cui ondulazioni sono positive anche quando la direzione della corrente è negativa.

ciò che la corrente alternata non viene prodotta esclusivamente da generatori rotanti, come quelli testè visti; specialmente in radiotecnica la corrente alternata che costituisce oggetto di applicazione è — come sappiamo — a frequenza estremamente più alta di quella prodotta dai generatori rotanti. Si ricorre allora, per la sua generazione, a circuiti oscillanti elettrici, che sfruttano un ben noto componente: la valvola termoionica. In attesa di studiare tutto ciò, si tenga presente che d'ora in poi la parola generatore può quindi significare anche un oscillatore a radiofrequenza.

VALORE ISTANTANEO e di PICCO

Il valore istantaneo di un'onda di tensione sinusoidale è il valore della f.e.m. generata in ogni istante.

E' necessario sapere che tutti i valori istantanei, sia della corrente che della tensione alternata, vengono generalmente indicati da lettere minuscole, mentre tutti i valori medi, efficaci e massimi sono indicati da lettere maiuscole; tale differenza è messa in evidenza alla **figura 11**.

A 0° il valore istantaneo *e* della f.e.m. è 0: tra 0° e 90° il valore di *e* sale da 0 ad un massimo, a 90° raggiunge il massimo valore ed equivale alla tensione di picco ossia *E* (massimo), scritto E_{max}. Tra 90° e 180° detto valore scende dal massimo a 0; nel successivo semiperiodo aumenta e diminuisce nel medesimo modo ma in direzione opposta, per cui la tensione istantanea varia continuamente durante un ciclo completo di 360° elettrici. La tensione di picco E_{max} può quindi essere definita come punto di massima tensione istantanea, la quale può essere sia positiva che negativa. In una tensione esattamente sinusoidale il picco negativo è identico a quello positivo, sebbene i due valori siano di segno contrario.

VALORE MEDIO

Il valore medio di una tensione, o di una corrente, in un ciclo completo equivale a zero, in quanto la semionda negativa è eguale ed opposta a quella positiva (figura 11). Tuttavia, il termine valore medio — quando viene applicato ad una tensione o ad una corrente alternata — si riferisce soltanto al valore medio di una sola semionda, o quella positiva o quella negativa, e, poichè le due forme geometriche sono identiche, lo sono pure le aree circoscritte. Il valore medio di una funzione sinusoidale viene definito come il rapporto tra l'area circoscritta da un semiperiodo e la sua base. La base di un semiperiodo è 180° ossia equivalente ad una lunghezza di π radianti.

Allo scopo di calcolare la superficie di una simile figura geometricamente irregolare, essa deve essere suddivisa in una serie di piccoli rettangoli i cui archi possono essere determinati facilmente; la somma di tutte queste piccole superfici equivarrà, con una certa approssimazione, all'area del semiperiodo (vedere illustrazione del semiperiodo nella figura 11). In tal modo si trova che l'area di un semiciclo di una curva sinusoidale equivale da $2E_{max}$, in cui E_{max} è il valore massimo della tensione; diversamente, detta area può essere eguagliata a $2I_{max}$, in cui I_{max} equivale al valore massimo della corrente. Il valore medio può essere quindi definito mediante la seguente formula:

$$\text{valore medio tens.} = \frac{2\ E_{max}\ \text{(area semiperiodo)}}{\pi\ \text{(lunghezza della base)}}$$

$$= \frac{E_{max}}{\frac{\pi}{2}} = 0.637 \times E_{max}$$

$$\text{valore medio corr.} = \frac{2\ I_{max}\ \text{(area semiperiodo)}}{\pi\ \text{(lunghezza della base)}}$$

$$= \frac{E_{max}}{\frac{\pi}{2}} = 0,367 \times I_{max}$$

VALORE EFFICACE

Potenza istantanea. Nello studio della corrente continua si è visto che la potenza dissipata in calore in una resistenza *R* equivalente al quadrato della corrente moltiplicata per la resistenza, ossia $I^2 \times R$. Quando però la resistenza è percorsa da una corrente alternata, la potenza dissipata non è costante durante tutto il ciclo in quanto la corrente varia assumendo tutti i va-

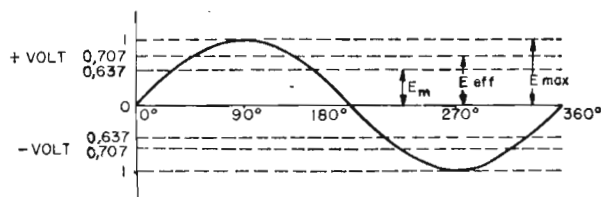



Fig. 13 — Rappresentazione grafica delle relazioni che intercorrono tra i valori « medio », « efficace » e « massimo » di una corrente alternata.

Fig. 14 — Rappresentazione di due tensioni alternate (e1 ed e2) di eguale frequenza ma di diversa ampiezza, « in fase » tra loro. Come si può osservare massimi e minimi coincidono sempre nel tempo (pari gradi).

lori intermedi, tuttavia la potenza assorbita dalla resistenza in ogni istante equivale al quadrato della corrente istantanea i, moltiplicato per la resistenza, ossia $i^2 \times R$. A questo punto è necessario notare che i^2 è sempre positivo, sebbene i possa essere un valore negativo, in quanto il quadrato di un numero negativo è sempre positivo e maggiore di zero.

Potenza equivalente. In conseguenza di quanto sopra, in un dato periodo di tempo, come ad esempio un semiperiodo, una certa quantità di energia viene fornita alla resistenza sotto forma di calore, tuttavia si può stabilire che un dato valore di corrente continua che scorre attraverso la medesima resistenza per il medesimo tempo, produce una dissipazione di calore identica a quella prodotta dalla corrente alternata. Tale valore di corrente continua viene definito come valore equivalente di riscaldamento, o *valore efficace* della corrente alternata.

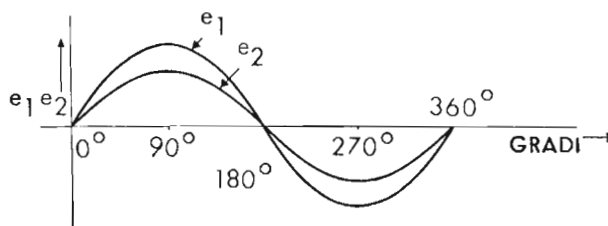
La corrente efficace corrisponde all'area di un semiciclo di i^2 diviso per π, ossia alla radice quadrata del valore medio di i^2, noto come valore efficace (in inglese « rms » = *root mean square*). La **figura 12** mostra la curva di i^2; come detto precedentemente, tutti i semiperiodi sono positivi.

Per trovare il valore efficace della corrente è necessario procedere come per trovare il valore medio. La corrente efficace equivale quindi al valore massimo I_{max} diviso per la radice quadrata di 2, mentre la tensione efficace equivale alla tensione di picco E_{max}, divisa per la radice quadrata di 2. Il valore efficace può quindi essere espresso mediante le seguenti formule:

$$\text{valore efficace corr.} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{I_{max}}{1{,}414} = 0{,}707\ I_{max}$$

$$\text{valore efficace tens.} = \frac{E_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{E_{max}}{1{,}414} = 0{,}707\ E_{max}$$

Si noti che il valore di corrente o di tensione indicato dai comuni strumenti di misura per c.a. è normalmente il valore efficace.

Esempio n. 1. La tensione misurata ad una presa di corrente elettrica domestica è di 125 volt: questo è il valore efficace. Qual'è la tensione di picco e la tensione media?

$E_{eff} = 125$ volt $\qquad E_{eff} = E_{max} \times 0{,}707$

$125 = E_{max} \times 0{,}707$

$$E_{max} = \frac{125}{0{,}707} = 176{,}7 \text{ volt. appross.} = \text{tensione di picco}$$

oppure

$E_{media} = E_{max} \times 0{,}637 \qquad E_{media} = 176{,}7 \times 0{,}637$

$E_{media} = 112{,}56$ volt

Esempio n. 2. Un apparecchio elettrico a resistenza funziona con una corrente di 4 ampère (valore efficace). Qual'è la corrente massima e la corrente media?

$I_{eff} = 4$ ampère

$I_{eff} = I_{max} \times 0{,}707 \qquad 4 = I_{max} \times 0{,}707$

$$I_{max} = \frac{4}{0{,}707} = 5{,}65 \text{ ampère} = \text{corrente massima}$$

oppure:

$I_{media} = I_{max} \times 0{,}637 \qquad I_{media} = 5{,}65 \times 0{,}637$

$I_{media} = 3{,}59$ ampère = corrente media

Negli esempi precedenti, si può notare che la tensione di picco e la corrente massima in un circuito elettrico sono notevolmente più alte di quanto è il valore medio, sia di corrente che di tensione. Per questo motivo, il circuito deve essere progettato in modo tale da essere in grado di sopportare tali valori, sebbene si tratti di valori istantanei e presenti soltanto due volte in ogni periodo.

FORMULE di CONVERSIONE

Nella lezione d'appendice sono riportate, come di consueto, tutte le formule che riguardano gli argomenti trattati nelle due altre lezioni dello stesso fascicolo. A pagina 185 quindi, il lettore troverà un elenco di formule che sintetizza quanto abbiamo constatato nei paragrafi precedenti, e rappresenta un mezzo rapido per convertire un valore in un altro. La **figura 13** inoltre, esprime graficamente le relazioni che sussistono tra tali valori.

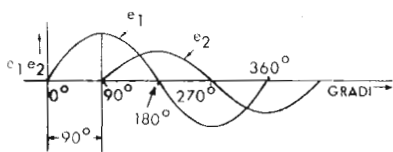



Fig. 15 — Rappresentazione di due tensioni alternate di eguale frequenza, di diversa ampiezza, reciprocamente sfasate di 90°. e_1 è infatti in anticipo di 90° rispetto a e_2.

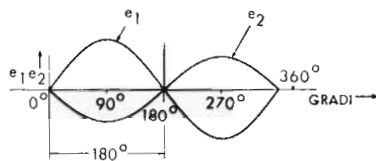



Fig. 16 — Rappresentazione di due tensioni alternate di eguale frequenza, di diversa ampiezza, reciprocamente sfasate di 180°: Ad ogni picco positivo della prima corrisponde il picco negativo della seconda, e viceversa.

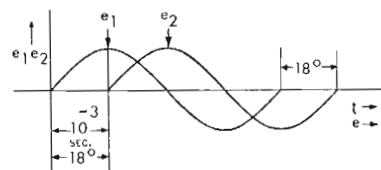



Fig. 17 — Le tensioni alternate alla frequenza di 50 Hertz, prodotte da due diversi generatori, sono sfasate di 18° se uno di essi entra in funzione un millesimo di secondo in anticipo rispetto all'altro.

TEMPO

Come abbiamo spiegato in tema di generazione di un'onda sinusoidale, il tempo durante il quale si svolge un ciclo di corrente o di tensione alternata viene generalmente espresso in gradi elettrici. Così si dice che 90° corrispondono ad un quarto di ciclo, e rappresentano un ammontare di tempo che dipende dalla frequenza della tensione, ossia dal numero di cicli al secondo. Se la tensione considerata ha la frequenza di 50 cicli, un ciclo completo avviene in un cinquantesimo di secondo. Quindi 90° — vale a dire 1/4 di ciclo — rappresentano 1/4 della cinquantesima parte di un secondo, ossia il prodotto tra 1/4 e 1/50, corrispondente a 1/200° di secondo.

Si dice anche che *la fase* di questa tensione è di 90°, ossia un duecentesimo di secondo. **Per fase si intende perciò la differenza, nel tempo, tra qualsiasi punto di un ciclo e l'inizio del ciclo stesso.** L'inizio del ciclo corrisponde normalmente al punto in cui esso passa attraverso il valore 0, nella direzione positiva. La definizione del concetto di fase, sebbene venga raramente usata quando ci si riferisce ad una sola tensione, è di immediata importanza pratica quando due o più tensioni o correnti alternate sono presenti nel medesimo circuito: in questo caso è necessario determinare la reciproca posizione nel tempo, relativamente ad ogni istante.

Anticipo e ritardo. Se due generatori di c.a. a 50 c/s vengono messi in funzione contemporaneamente e vengono collegati al medesimo circuito, le due tensioni variabili aumentano e diminuiscono, ed invertono la loro direzione, contemporaneamente: in questo caso si dice che le due tensioni *sono in fase* (**figura 14**). Se invece uno dei generatori viene azionato 1/200 di secondo dopo l'altro, le due tensioni non variano contemporaneamente, bensì con un intervallo di tempo definito che può essere espresso in gradi in quanto si tratta di una frazione di ciclo. In questo caso si dice che le due tensioni provenienti dai generatori sono state sfasate, e che la prima è in anticipo rispetto alla seconda, (oppure che la seconda è in ritardo rispetto alla prima) di un numero di gradi che esprime la differenza di tempo, ossia di 90°. La **figura 15** illustra tale fenomeno mostrando come la tensione *e2* sia in ritardo rispetto ad *e1*, in quanto il punto di partenza della prima è a 90° a destra della seconda. Nell'intervallo di tempo tra 180° e 270°, *e2* è positiva ed *e1* è negativa. Si noti che l'asse *X* — detto asse del tempo — va da sinistra a destra, per cui ognuno dei punti che lo costituisce e che si trova a destra di un altro è in ritardo rispetto a quest'ultimo.

La **figura 16** mostra un esempio di due tensioni reciprocamente sfasate di 180°: entrambe raggiungono contemporaneamente i valori di 0 e di massima, ma *e1* è in direzione opposta ad *e2*; esse sono sempre di segno contrario in quanto quando una è positiva, l'altra è negativa. Se tali tensioni sono di eguale valore o ampiezza e scorrono nel medesimo circuito, il valore risultante è zero in quanto le due tensioni si annullano completamente. Se invece esse sono in fase, come detto precedentemente ed illustrato nella **figura** 14, la tensione risultante equivale alla somma delle due. Per sfasamenti inferiori a 180°, la tensione risultante è la somma vettoriale delle due tensioni.

Differenza di fase. E' importante notare che quando la differenza di fase tra l'inizio delle due tensioni citate precedentemente corrisponde ad un cinquantesimo di secondo, ossia ad un ciclo, le due tensioni *restano in fase,* mentre una differenza di 1 ciclo ed 1/4, ad esempio, può essere espressa come una differenza della sola frazione del ciclo, ossia di 90° (90° = 1/4). Ne consegue che, se la differenza di tempo è un numero intero multiplo di 1 ciclo, le tensioni sono in fase, mentre in qualunque altro caso la differenza di tempo viene espressa semplicemente come la parte frazionale di un singolo ciclo. Inoltre, la differenza di fase è correntemente enunciata in gradi da 0° a 180°, in quanto qualsiasi angolo maggiore di 180°, ad esempio, 210° di anticipo del primo generatore, può essere espresso come una differenza di 150° di ritardo del secondo dato che la somma dei due valori corrisponde a 360°.

Angolo di fase. Il tempo di ritardo, supponiamo di *e2* (t^0 secondi), può essere convertito in un ritardo espresso in gradi elettrici mediante la seguente equazione:

$$\text{gradi elettrici} = t^0 \text{ (secondi)} \times \text{frequenza} \times 360^\circ$$

Ad esempio, se due generatori a 50 c/s c.a. vengono azionati con una differenza di 1 millisecondo, lo sfasamento in secondi equivale a 10^{-3}, per cui detto sfasamento in gradi elettrici equivale a 10^{-3} volte, 50 volte 360°, ossia 18°: si può dire che il generatore che viene azionato per secondo è in ritardo rispetto al primo di 18° (**figura 17**).

MISURE della CORRENTE ALTERNATA

AMPEROMETRI e VOLTMETRI per CORRENTE ALTERNATA

Per effettuare misure in c.a. a frequenza bassa si usano correntemente tre tipi di strumenti: gli strumenti a ferro mobile, che possono misurare tanto la c.c. che la c.a., sia pure con scarsa sensibilità; gli strumenti provvisti di raddrizzatori ad ossido di rame, (raddrizzatore che ha il compito di convertire la c.a. in c.c. onde permettere poi di misurare quest'ultima con uno strumento sensibile adatto solo per c.c.), ed i voltmetri elettronici o voltmetri a valvola che impiegano valvole elettroniche e che vedremo a suo tempo in dettaglio.

Prima di passare qui in rassegna i primi due tipi di strumenti citati, riesporremo succintamente quanto è stato detto sulla c.a. al fine di facilitare la comprensione di come essa possa essere misurata.

Abbiamo teste visto che cosa sia la corrente alternata, come si comporti, come si classifichi ecc. Sappiamo che la corrente alternata scorre periodicamente prima in una direzione e poi in quella opposta, come è illustrato nella **figura 1**. Il tempo necessario affinchè il valore vada da 0 al massimo positivo, ritorni a zero, per poi raggiungere il massimo valore negativo e quindi ritorni ancora una volta a zero, corrisponde al tempo necessario per l'evoluzione di 1 ciclo o periodo o Hertz.

Ci è noto anche che quella parte di un ciclo durante la quale la corrente scorre in un'unica direzione — come illustrato nella figura — si chiama « alternanza » o « semiperiodo » o « semiciclo » o « semionda », e che la frequenza non è altro che il numero di cicli che hanno luogo in un minuto secondo: una c.a., si noti, può avere qualsiasi frequenza.

Forma d'onda viene detta la rappresentazione grafica di una corrente o di una tensione che varia in relazione al tempo. La **figura 2** illustra i valori di ampiezza e la direzione relativi ad ogni istante. Come si vede dalla figura stessa esistono varie forme d'onda, e non solo quella sinusoidale che abbiamo sinora presa in considerazione; vi sono infatti forme d'onda a dente di sega, quadre, ecc.

Valore efficace di un'onda sinusoidale

Il valore medio, aritmetico, del periodo intero di una onda sinusoidale è zero, in quanto i due semiperiodi che la compongono sono eguali e di segno contrario. Le parole « positivo » e « negativo » costituiscono un mezzo sufficientemente comodo per indicare che la corrente inverte la sua direzione, tuttavia è bene avere presente che, dal punto di vista del funzionamento del circuito, essa scorre durante entrambi i semiperiodi, e compie in entrambi il medesimo ammontare di lavoro.

Quando una corrente segue un andamento sinusoidale, la sua ampiezza varia costantemente in ogni alternanza. Il problema della misurazione di una corrente alternata consiste in ciò: le unità elettriche fondamentali di misura, ossia il volt e l'ampère, sono basate sulla c.c., ed è ovvio allora chiedersi in qual modo sia possibile paragonare alla c.c. i valori di tensione e di corrente di un'onda sinusoidale. Appare anzitutto evidente che non si può prendere in considerazione il valore di picco, o di cresta, in quanto tale valore sussiste solo per un breve istante in ogni alternanza.

Per ottenere perciò una relazione ben definita tra c.c. e c.a. si è provveduto a studiare gli effetti termici di entrambe. Si è constatato che una tensione o corrente pari a 0,707 volte il valore di picco di una c.a. produce, in una data resistenza, il medesimo effetto termico: in altre parole, che una corrente alternata produce un effetto termico pari a quello prodotto da una c.c. avente un valore eguale a 0,707 quello della corrente alternata.

Questo concetto è stato visto ed illustrato nella lezione precedente, e si è dimostrato anche come il coefficiente 0,707 derivi dalla radice quadrata di 2. Non sarà male comunque tornare con qualche semplice esempio su questi argomenti sintetizzando ancora le formule di conversione, perchè esse, se ben presenti, facilitano molto, come abbiamo detto, la comprensione del funzionamento degli strumenti di misura relativi.

Ad esempio, supponiamo che un circuito sia percorso da una corrente sinusoidale avente un valore di picco di 5 ampère: tale corrente, sappiamo, ha un effetto termico eguale a quello di una c.c. avente una intensità di $0{,}707 \times 5 = 3{,}535$ ampère.

Il valore di picco moltiplicato per il fattore di conversione citato, e cioè 0,707, si chiama *valore efficace;* pertanto 3,535 ampère è il valore efficace di 5 ampère di picco. ossia:

$$I_{eff} = 0{,}707\ I_{max}$$

$$I_{max} = \frac{I_{eff}}{0{,}707} = 1{,}414\ I_{eff}$$

L'effetto termico della corrente è basato a sua volta sulla formula della potenza $P = I^2 R$, la quale deter-

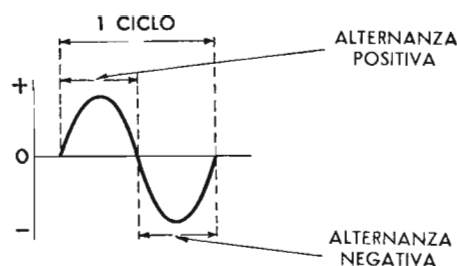



Fig. 1 — Ancora una riproduzione del caratteristico andamento della corrente alternata, con la sua inversione di polarità e la rappresentazione di 1 ciclo. La forma d'onda, ossia la variazione nel tempo, è quì, sinusoidale.

Fig. 2 — Le correnti alternate non sempre seguono l'andamento sinusoidale. Si incontrano spesso, in elettronica, onde a forma di dente di sega o a forma quadra, che vengono rappresentate così come dalla figura. L'aumento e la diminuzione dell'ampiezza si effettuano evidentemente in tempi diversi tra loro.

mina l'ammontare della potenza dissipata in calore. Detto calore varia col variare del quadrato della corrente, e, quando l'onda sinusoidale raggiunge il suo valore di picco, raggiunge l'intensità massima (pari al valore della corrente elevato al quadrato e moltiplicato per la resistenza).

Per trovare la quantità di calore dissipato durante un intero periodo, si eleva al quadrato ogni valore istantaneo della corrente, quindi si trova un valore medio della somma di tali valori, dopo di che se ne estrae la radice quadrata; la quale rappresenta il valore efficace e corrisponde a 0,707 volte il valore di cresta.

Gli strumenti per c.a. sono tarati in modo da indicare il valore efficace della tensione o della corrente di cui si misura rispettivamente l'ampiezza o l'intensità; se uno strumento indica, ad esempio, una corrente di 70,7 mA, ciò vuol dire che si sta misurando una corrente alternata il cui valore di picco è di 1000 milliampère.

Dobbiamo accennare anche ad altri due noti valori relativi ad un'onda sinusoidale che hanno importanza per comprendere come siano tarati gli strumenti: il *valore medio* ed il *fattore di forma*.

Prelevando la media dei valori istantanei della tensione durante una alternanza, abbiamo già visto che:

$$E_{media} = 0{,}637 \; E_{max}$$

Il valore efficace è evidentemente maggiore del valore medio in quanto:

$$E_{eff} : E_{media} = 0{,}707 : 0{,}637 = 1{,}11$$

Il fattore 1,11 — noto come « fattore di forma » di un'onda sinusoidale — è perciò il rapporto tra la tensione efficace e la tensione media.

Si tenga presente che i valori efficaci e medi ora enunciati si riferiscono soltanto alle correnti ed alle tensioni sinusoidali.

STRUMENTI a FERRO MOBILE

Gli unici tipi di strumenti a ferro mobile oggi in uso sono quelli ad aletta mobile, e, sebbene possano misurare sia la c.c. che la c.a. vengono normalmente utilizzati solo per la c.a. in quanto, come già abbiamo visto, per la c.c. esistono altri tipi di strumenti più sensibili e maggiormente precisi; gli strumenti a ferro mobile vengono tuttavia ancora impiegati per misurare correnti e tensioni a frequenza bassa, limitatamente a quelle frequenze che sono definite « industriali ».

Già abbiamo esaminato alla lezione 17ª il principio di funzionamento di questo tipo di strumento: ci limiteremo perciò a qualche ulteriore cenno al fine di completare l'argomento. Incidentalmente diremo anche che, nelle apparecchiature elettroniche, gli strumenti a ferro mobile sono usati raramente.

L'equipaggio mobile è basato sul principio già esposto, delle due alette di ferro dolce che si respingono a vicenda quando vengono magnetizzate con la medesima polarità.

Esse vengono collocate all'interno di una bobina che assume il ruolo di elettromagnete quando viene percorsa da corrente. Le linee di forza si allontanano dal polo Nord dell'avvolgimento, si piegano all'esterno in tutte le direzioni e rientrano nella bobina dal polo Sud. All'interno della bobina, diverse linee di forza passano attraverso le alette di ferro in quanto esse hanno una riluttanza inferiore a quella dell'aria, il che ha per risultato che le linee di forza presenti alle estremità delle alette sono molto avvicinate, ed il loro addensamento fa in modo che si allontanino l'una dall'altra.

Se il senso della corrente che si misura e che magnetizza le alette si inverte durante il secondo semiperiodo, la manifestazione del fenomeno non subisce variazioni in quanto le polarità magnetiche del campo e delle alette di ferro dolce si invertono anch'esse contemporaneamente, e queste ultime continuano perciò a respingersi.

Il principio è utilizzato nella costruzione sia di strumenti ad alette radiali che in quelli ad alette concentriche. La differenza tra i due tipi è già stata illustrata (lezione 17ª), comunque esamineremo ora tale differenza con qualche maggiore dettaglio. In entrambi i tipi vi sono molle che esercitano la funzione di « controllo ». Esse offrono una opposizione, opportunamente calcolata, allo spostamento dell'equipaggio mobile, ed hanno anche il compito di riportare l'indice a zero non appena allo strumento non perviene più corrente. L'indice dà quindi una lettura corrispondente al punto in cui la forza di repulsione delle alette è eguale a quella opposta delle molle.

Negli strumenti ad alette radiali, internamente alla

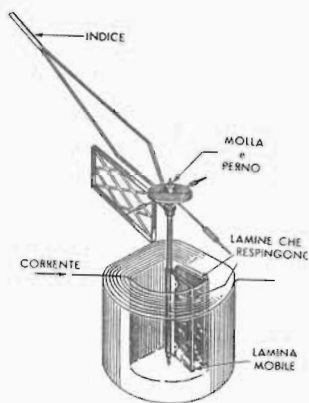



Fig. 3 — Strumento a ferro mobile, con alette radiali. Il perno, rotante e recante l'indice, è solidale con una aletta: l'altra aletta è fissa.

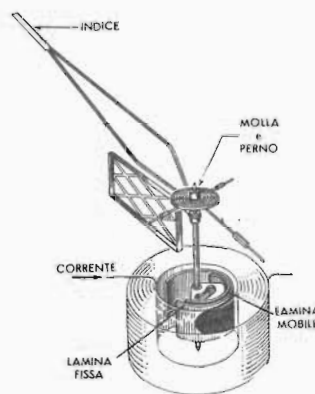



Fig. 4 — Strumento a ferro mobile, con alette concentriche. Le due alette sono l'una nell'altra: il perno, con indice, è solidale con quella interna.

bobina vengono collocate due alette di forma rettangolare; una di esse è fissa, mentre l'altra, solidale con un perno, è libera di ruotare attorno a quest'ultimo il quale, a sua volta, fa da supporto ad un indice (**figura 3**). Il perno è sostenuto da due supporti muniti di rubino, come negli orologi, il che permette il movimento con il minimo attrito e col minimo logorio nel tempo e con l'uso continuato.

Quando la bobina è percorsa da corrente, le alette rettangolari si magnetizzano e si respingono, quella mobile si allontana da quella fissa, spostando contemporaneamente l'indice su una scala graduata e, poichè la deviazione è tanto maggiore quanto maggiore è la intensità del campo magnetico sviluppato, ne consegue che l'indice misura l'ampiezza della tensione presente ai capi della bobina stessa, oppure l'intensità della corrente che la percorre.

Negli strumenti ad alette concentriche, vi è una leggera variante, sebbene essi siano basati sul medesimo principio. In essi, le alette di ferro dolce hanno una forma semicircolare (**figura 4**), e vengono dette concentriche in quanto vengono collocate una nell'altra. Quella fissa si trova all'esterno ed ha una forma leggermente affusolata da un lato, mentre quella mobile è collocata all'interno, è montata sul perno solidale con l'indice, ed ha una forma con angoli vivi.

Quando una corrente scorre attraverso la bobina, le alette diventano sede di linee di forza concentrate, le quali si distribuiscono uniformemente in quella mobile avente, come si è detto, una forma regolare, e non uniformemente in quella fissa avente invece una forma affusolata. Nella parte più stretta di quest'ultima passa perciò un numero inferiore di linee di forza in quanto, essendo minore la quantità del ferro, è maggiore la riluttanza. Le linee di forza così addensate si respingono a vicenda: l'aletta mobile viene ad essere sollecitata ad una rotazione tale da ripristinare l'equilibrio della loro distribuzione, fino a far raggiungere la distanza massima tra le linee. In tal modo, la parte mobile si sposta nella direzione della parte affusolata dell'aletta fissa, perchè questa è la direzione in cui le linee di forza diminuiscono.

Anche in questo caso, l'ammontare dello spostamento è in relazione alla quantità di corrente, ed in entrambi i sistemi, la forza di propulsione deve essere in grado di vincere la forza contraria prodotta dalle molle o comunque dal dispositivo di centraggio dell'indice, che fa sì che esso torni sempre al medesimo punto non appena cessa la causa del suo spostamento.

Nei piccoli strumenti, del tipo ad alette radiali, la bobina è alloggiata in una custodia metallica chiusa e l'equipaggio mobile si adatta in maniera esatta nello spazio disponibile. Non appena si manifesta la forza di repulsione e il movimento, l'aletta comprime l'aria che ha di fronte a sè, per cui la velocità diminuisce. Quando l'indice tende a fermarsi, l'azione di smorzamento tende contemporaneamente a cessare, e l'indice subisce delle oscillazioni di ampiezza decrescente col tempo, (questo, tra l'altro, è uno degli inconvenienti di questo tipo di strumento), finchè si ferma del tutto.

Negli strumenti di maggiori dimensioni, invece, una ulteriore leggera aletta di alluminio (**figura 5**) è solidale col perno rotante: essa a sua volta è collocata in una custodia a tenuta d'aria, nella quale è libera di muoversi per tutta la rotazione del perno; la resistenza al movimento è molto maggiore che nel primo caso e di conseguenza lo smorzamento più pronto ed efficace.

In questo caso si evita di dover attendere molto, prima che l'indice si fermi sul valore corrispondente alla misura che si sta effettuando.

Ulteriori caratteristiche

Le alette concentriche fanno sì che l'indice dia letture in accordo alla *legge quadratica* piuttosto che alla proporzione diretta nei confronti dell'ammontare della corrente.

Ad esempio, se la corrente viene raddoppiata, raddoppia contemporaneamente l'intensità del campo magnetico presente nelle alette ed intorno ad esse, e poichè *entrambe* si respingono con una forza *doppia*, ne consegue che la forza di repulsione sviluppata è quadrupla.

La repulsione — e quindi lo spostamento dell'indice — *non variano direttamente* col variare della corrente, bensì col variare del *quadrato* della corrente stessa. In altre parole, se essa viene raddoppiata, la deflessione è quadrupla, se triplicata essa è nove volte maggiore, e così via.

Per questo motivo si dice che la scala non è lineare e che la deflessione segue appunto un andamento quadratico: infatti la distanza tra i numeri indicanti i vari

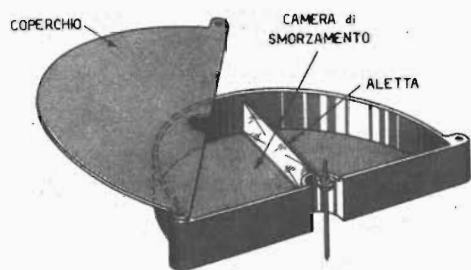



Fig. 5 — A volte, negli strumenti a ferro mobile, si ha una camera di smorzamento, a tenuta d'aria, con apposita aletta interna, per diminuire le oscillazioni dell'indice.

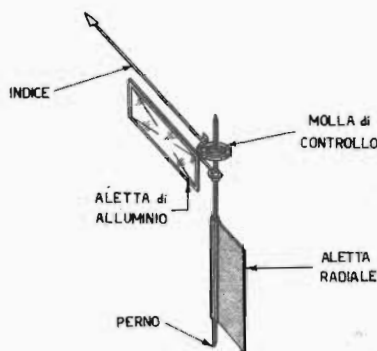



Fig. 5 bis — Particolare dell'equipaggiamento che sfrutta il sistema di smorzamento a lato indicato.

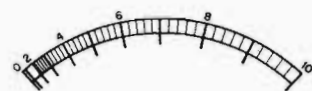



Fig. 6 — La scala degli strumenti a ferro mobile non è lineare, bensì ad andamento quadratico, come risulta da questa illustrazione ove il valore 5 è ad un quarto di scala rispetto al valore 10.

valori — o le lineette che li rappresentano — è minima al principio della scala ed aumenta man mano che essa si estende verso l'estremità opposta. In una scala realmente quadratica, qualsiasi punto che rappresenti un valore doppio di un punto precedente rappresenta anche una deflessione quadrupla. Ad esempio, la **figura 6** illustra una scala in cui la deflessione completa indica 10, mentre la quarta parte indica 5; il raddoppio della corrente porta ad una deflessione quattro volte maggiore.

Quando la bobina viene percorsa da una corrente sinusoidale, questa non è di valore fisso bensì, data appunto la sua natura, varia costantemente: in altre parole, se si misura una corrente a 50 c/s (cicli al secondo) come ben sappiamo, essa va da zero al valore massimo ed ancora a zero in un senso, per poi ripetere la cosa nel senso opposto, il tutto 50 volte al minuto secondo. Le linee di forza in conseguenza di ciò, cambiano continuamente sia l'intensità che la direzione: l'ammontare della forza di repulsione reciproca tra le alette varia perciò da zero al massimo, e quindi ancora a zero, 100 volte al minuto secondo, in quanto la repulsione è massima durante entrambe le alternanze, sia quella positiva che quella negativa.

L'indice dello strumento resta tuttavia fermo in un punto poichè la sua inerzia — dovuta al peso, ossia alla sua massa — gli impedisce di seguire le variazioni istantanee. Per esso è fisicamente impossibile cambiare posizione 100 volte al secondo; l'indice assume pertanto una posizione che indica il valore medio delle linee di forza presenti in ogni alternanza, valore a sua volta dipendente dal valore medio della corrente, che corrisponde a 0,637 volte la corrente di picco: questo è il valore indicato dallo strumento.

Per apprezzarne il reale significato, le misure in c.a. devono però essere effettuate in termini di valore efficace, ossia del valore termico equivalente in c.c. Per questa ragione le scale sono tarate in valori efficaci invece che in valori medi relativamente ad onde sinusoidali. Supponiamo, ad esempio, che si debba tracciare una scala per uno strumento nuovo, e che ai suoi capi venga collegata una tensione sinusoidale con un valore di picco di 100 volt. In questo caso l'indice indica il valore medio, pari a 63,7 volt, ma questo punto viene contrassegnato col valore efficace di 70,7 volt ($E\ eff = 0{,}707$ volte 100, ossia 70,7) e così il resto della scala, che viene tarato in valori efficaci e non in valori medi.

La maggior parte degli strumenti per c.a. è tarata sulla base di una corrente sinusoidale (di frequenza pari a quella della rete luce), tuttavia non tutte le correnti dei circuiti radio hanno andamenti sinusoidali e frequenze dell'ordine di quelle della rete, per cui se uno strumento per c.a. viene usato per misurare correnti o tensioni non sinusoidali, non si ottiene una lettura esatta bensì soltanto una indicazione approssimativa.

Per quanto riguarda il comportamento alle diverse frequenze che la corrente da misurare può presentare, diremo anzitutto che, generalmente, gli strumenti a ferro mobile non vengono utilizzati per misurare c.a. la cui frequenza sia superiore a 100 c/s.

La reattanza induttiva di una bobina ($X_L = 2\pi f L$) aumenta con l'aumentare della frequenza, e provoca quindi una diminuzione della corrente che la percorre: a causa di ciò si hanno letture inesatte se uno strumento del genere viene adottato per effettuare misure in c.a. la cui frequenza sia più alta di quella della normale corrente di rete. Le perdite nel nucleo (per isteresi e per correnti parassite) aumentano inoltre nelle alette con l'aumentare della frequenza, e costituiscono quindi una ulteriore fonte di errore.

La tolleranza sulla lettura dichiarata, per la maggior parte degli strumenti a ferro mobile, è dell'ordine del $\pm$ 5 %.

Una vite esterna, posta sulla parte frontale dello strumento, agisce sul punto di ancoraggio di una delle molle, e permette quindi di spostare tale punto per portare l'indice al valore di zero in assenza di corrente.

Per evitare che eventuali campi magnetici esterni influenzino le letture, si usa montare gli strumenti in un involucro metallico (di ferro), il quale forma custodia e schermo magnetico nello stesso tempo.

Nel caso del voltmetro, la bobina dello strumento a ferro mobile è costituita da un avvolgimento di molte spire di filo sottile; è allora possibile usare una resistenza addizionale in serie, allo scopo di estendere la portata al valore desiderato.

Nel caso dell'amperometro il numero di spire è molto inferiore ed il filo è di spessore maggiore. Gli amperometri a ferro mobile possono essere usati per misurare notevoli intensità di corrente senza l'uso di re-

Fig. 7A — **Rappresentazione pratica e schematica di un assieme rettificatore-strumento a bobina mobile, per letture di corrente alternata. Raddrizzamento di 1 sola semionda.**

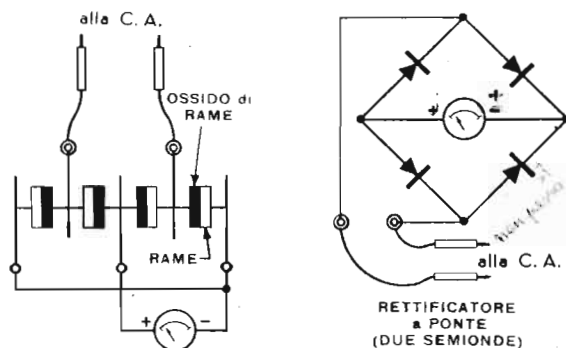
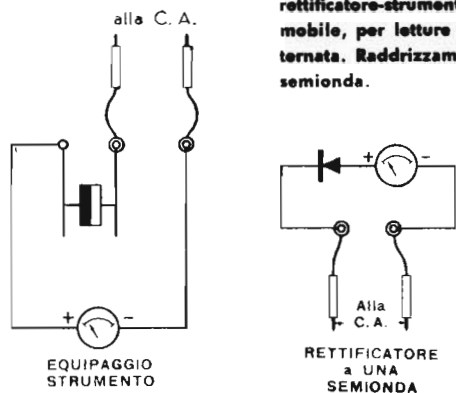



Fig. 7B — **Rappresentazione pratica, e a lato, schematica di un assieme rettificatore-strumento a bobina mobile, per letture di corrente alternata. Il raddrizzamento per entrambe le semionde, è ottenuto con circuito a ponte.**

sistenze in derivazione o « shunt », tuttavia, a causa della loro scarsa sensibilità, non possono misurare correnti deboli come è possibile fare con gli strumenti a bobina mobile dei quali si è già parlato.

La massima sensibilità utile, ottenibile, raggiunge i 15 mA f.s., pari a 67 ohm/volt.

Concludendo, si può affermare che questi tipi di strumenti sono utili per misurare correnti e tensioni alla frequenza di rete, ma, come si è già detto, a causa della loro scarsa sensibilità, non vengono impiegati per l'analisi dei circuiti: essi hanno infine la caratteristica di un basso costo.

STRUMENTI con RADDRIZZATORI ad OSSIDO

Nell'analisi dei circuiti, la maggior parte delle misure di c.a. a frequenza bassa viene effettuata con strumenti a bobina mobile provvisti di rettificatori ad ossido di rame. Sensibilità e precisione sono molto maggiori di quelle degli strumenti a ferro mobile.

Nella maggior parte degli analizzatori o « tester » — ossia degli strumenti destinati a vari tipi di misure — è compreso un circuito del tipo citato: in tal modo è possibile misurare tensioni e correnti sia in c.a. che in c.c. col medesimo strumento.

Lo strumento con rettificatore ad ossido è, pertanto, una combinazione tra uno strumento per c.c. a bobina mobile (movimento d'Arsonval) ed un raddrizzatore: mediante quest'ultimo la c.a. viene trasformata in c.c. (dopo tale trasformazione è detta **pulsante**) e come tale misurata dallo strumento per c. continua.

Il rettificatore o raddrizzatore ad ossido di rame, consiste in diversi dischetti di rame ognuno dei quali porta su una delle superfici uno strato di ossido. Essi sono separati mediante ranelle di piombo, e stretti l'uno contro l'altro a mezzo di un prigioniero (vite con dado) isolato. Il tipo di raddrizzatore in questione può essere realizzato sia per raddrizzare una sola semionda, sia per raddrizzarle entrambe (**figura 7**).

Il compito di un raddrizzatore consiste, si è detto, nel convertire la c.a. in una specie di c.c.; di conseguenza, a differenza della corrente che entra in esso, quella che ne esce non cambia più periodicamente la sua direzione.

La resistenza di conduzione dal rame all'ossido è molto bassa in confronto a quella che sussiste dall'ossido al rame, ossia nel senso opposto. A causa di ciò il passaggio di corrente può avvenire in una sola direzione. Il dispositivo viene denominato « raddrizzatore » ed è perfettamente analogo al diodo rivelatore che abbiamo visto impiegato con l'Alta Frequenza nei semplici ricevitori radio descritti (lezioni 7ª - 8ª - 9ª).

Rettificazione di una semionda. Quando una c.a. viene applicata ad un rettificatore in serie ad una resistenza, (**figura 8A**), la corrente passa attraverso il rettificatore stesso dalla punta della freccia verso il lato piatto, (che rappresentano rispettivamente il rame e l'ossido), e non nel senso opposto in quanto, in questo caso, la corrente incontra una resistenza molto alta; di conseguenza la corrente che percorre la resistenza non inverte la sua direzione, ossia non è più c.a. bensì *corrente continua pulsante*.

Da ciò possiamo dedurre che, se si rettifica una sola semionda, la corrente che scorre nella resistenza è presente soltanto durante un semiperiodo della corrente alternata, e non durante l'altro; ciò significa che la corrente pulsante (come illustrato nella sez. A della figura), se è espressa graficamente assume un aspetto in cui si ha un inizio dal valore zero, seguito da un aumento fino al valore massimo, dopo di che il valore scende nuovamente a zero, sempre nella medesima direzione. Quest'ultimo valore viene mantenuto per tutto il tempo in cui si svolge l'altro semiperiodo, al termine del quale il processo si ripete.

Rettificazione di due semionde. Si può fare in modo che la corrente scorra attraverso la resistenza durante entrambi i semiperiodi e nella medesima direzione (rettificazione dell'onda intera), mediante l'impiego di un raddrizatore a ponte, come è illustrato nella sez. **B** della stessa figura 8.

Quando l'alternanza positiva viene applicata al radrizzatore *1*, la corrente scorre dal generatore attraverso il raddrizzatore *2*, la resistenza *R da sinistra a destra,* attraverso il raddrizzatore *1* nel senso possibile (ossia dal rame all'ossido) e torna quindi al generatore. Nell'alternanza successiva la polarità della tensione generata si inverte: la corrente scorre dal generatore attraverso il raddrizzatore *4*, la resistenza *R*, ancora *da sinistra a destra*, il raddrizzatore *3* e quindi torna al generatore. Si può notare che, durante l'intero ciclo, pur trattandosi di una corrente che ha invertito

Fig. 8A e B — È posta in evidenza la forma che la corrente assume all'uscita di un rettificatore ad 1 semionda (A) e a 2 semionde (B). Per il primo caso, si noterà la corrispondenza con quanto esposto alla lezione 3ª, a pag. 52.

Fig. 9 — Sistema in « controfase » per la rettificazione di entrambe le semionde. Si ottiene, ai capi di R3, una tensione pulsante pari a metà di quella alternata applicata.

la sua direzione, la corrente presente nella resistenza ha continuato a scorrere nel medesimo senso. La c.a. è quindi diventata corrente pulsante continua: pulsante in quanto l'ampiezza non è costante, e continua in quanto la direzione non si è invertita.

E' possibile rettificare le due semionde con un altro sistema detto « in controfase »; esso è illustrato alla **figura 9.**

In questo caso, l'intera tensione viene applicata a due resistenze in serie tra loro e di eguale valore, le quali a loro volta sono in parallelo a due reddrizzatori eguali ma opposti l'uno all'altro nel senso di conduzione.

Quando l'alternanza positiva è applicata al raddrizzatore *1*, la corrente trova una alta resistenza, per cui può passare soltanto attraverso il raddrizzatore *2*, e quindi attraverso *R3*, dopo di che ritorna al generatore attraverso *R2*, mentre, durante l'altra alternanza, la corrente percorre il circuito del raddrizzatore *1*, *R3*, nel medesimo senso dell'alternanza precedente, e quindi torna al generatore attraverso *R1*.

Vedremo in seguito l'importanza e l'utilità di questo sistema, comunque è bene sapere già sin d'ora che in questo caso la tensione raddrizzata è pari alla metà di quella alternata, in quanto praticamente viene rettificata soltanto la tensione presente ai capi di una delle resistenze del partitore, ossia, alternativamente *R1* ed *R2*. La tensione continua è presente tra i punti *A* e *B*.

USO degli STRUMENTI per C.C. e dei RADDRIZZATORI

Sostituendo uno strumento a bobina mobile alle resistenze che compaiono nella figura 8, è possibile effettuare misure in c. alternata. Quest'ultima, trasformata — come abbiamo testè visto — in corrente pulsante grazie all'azione del raddrizzatore, passa attraverso lo equipaggio mobile dello strumento, permettendo all'indice di indicare il valore medio della corrente stessa. Come nel caso dello strumento a ferro mobile, l'inerzia dell'equipaggio impedisce all'indice di seguire le variazioni di ampiezza.

La corrente media che percorre la bobina nel caso di rettificazione delle due semionde differisce da quella che si ha nel senso di rettificazione di una semionda sola. Nel primo caso, il valore medio è pari a 0,637 volte il valore di cresta poichè si utilizza l'intero ciclo: l'indice assume allora una posizione corrispondente al valore di picco moltiplicato per 0,637. Tuttavia, come enunciato, la scala è tarata in valore efficace, ossia il valore indicato dall'indice sarà 0,707 volte il valore di cresta.

Nel caso invece di rettificazione di una sola semionda, la corrente della bobina mobile sarà presente durante un solo semiperiodo. A causa della sua inerzia, l'indice non potrà seguire tutte le variazioni di ampiezza durante l'intero ciclo. Sappiamo che il valore medio durante un semiperiodo è pari a 0,637 volte il valore di picco, ma durante l'altro semiperiodo esso è zero, per cui la corrente media del ciclo completo è pari alla somma delle due alternanze divisa per due.

La corrente media del ciclo completo è data da $(0{,}637 - 0) : 2 = 0{,}318$ volte al valore di picco. In tali condizioni l'indice assume allora una posizione che indica 0,318 volte la corrente di picco. Tuttavia, questo punto può essere contrassegnato egualmente col valore efficace corrispondente a 0,707 volte la corrente, dato che il rapporto si mantiene costante su tutta la scala.

Circuiti pratici di strumenti con raddrizzatori

Per effettuare misure di tensione, è necessario collegare resistenze addizionali in serie all'equipaggio mobile ed al raddrizzatore. In seguito a ciò, l'efficienza di quest'ultimo viene ridotta, in quanto nessun raddrizzatore può essere perfetto, ed esiste sempre una certa resistenza. Nella fase di conduzione la resistenza del raddrizzatore è bassa; ma la resistenza sul senso opposto non è infinita, ed è generalmente, solo 50 volte quella di conduzione.

Vediamo ora come l'aggiunta di un'alta resistenza in serie al raddrizzatore diminuisca la sua efficienza. Supponiamo, ad esempio, che un equipaggio mobile presentante una resistenza di 50 ohm venga collegato in serie ad un raddrizzatore avente una resistenza di conduzione di 1.000 ohm. In tal caso lo strumento viene ad avere una resistenza interna di 1.050 ohm in un senso, e di 50.050 ohm nell'altro. Agli effetti pratici, la corrente scorre nello strumento in una sola direzione (vedi sez. **A** della figura **10**). Supponiamo ancora che la tensione da misurare sia elevata, e che sia perciò necessario porre una resistenza da 100.000 ohm

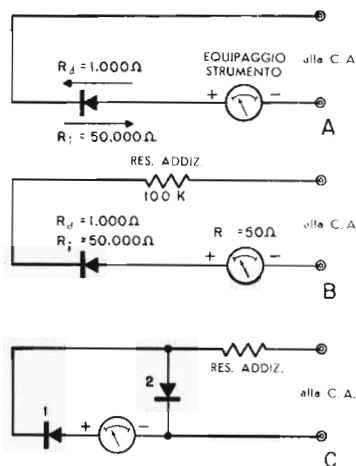



Fig. 10 — Nel circuito A la resistenza è di 1050 ohm in un senso, e di 50.050 nell'altro, ma, se si deve aggiungere una resistenza elevata, come in B, si ha 101.050 contro 150.050 ohm e la differenza risulta percentualmente scarsa; per rimediare si adotta lo schema C.

Fig. 11 — Se si inserisce uno « shunt » (R_{SH}) allo strumento, si ha sempre un più elevato passaggio di corrente nei raddrizzatori, ciò che elimina l'influenza delle differenti resistenze degli stessi a regimi diversi di corrente.

in serie al circuito, come nella sez. **B** della medesima figura.

In una alternanza, la resistenza totale comprende la resistenza addizionale di 100.000 ohm, la resistenza di conduzione *Rd* del raddrizzatore (ossia 1.000 ohm) ed infine la resistenza della bobina mobile *R* di 50 ohm, per cui ammonta a 101.050 ohm. Nell'alternanza successiva il raddrizzatore non conduce, ed essendo allora la sua resistenza di 50.000 ohm, quella totale assume il valore di 150.050 ohm (figura 10B).

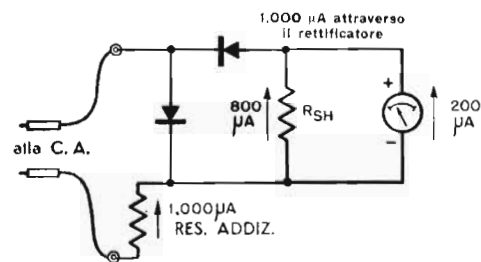
Le due resistenze, presenti nei due semiperiodi, sono perciò rispettivamente di 101.050 e di 150.050 ohm; la differenza come si vede non è elevata, quindi la corrente che scorre è pressochè eguale nei due sensi. In conseguenza di ciò la deflessione dell'indice è piccola, e corrisponde alla sola differenza tra i due valori.

Per rimediare alla rettificazione insufficiente derivante dall'aggiunta di una resistenza addizionale in serie di valore elevato, si usa generalmente un raddrizzatore a doppia semionda, come nella sez. **C** della figura 10: in un primo semiperiodo si verifica la rettificazione di una semionda, per cui la corrente passa attraverso lo strumento ed il raddrizzatore *1*; durante il semiperiodo successivo la corrente passa attraverso il rettificatore *2*, trascurando lo strumento ed il primo raddrizzatore.

Esigenze ulteriori

La resistenza di conduzione di un raddrizzatore varia col variare dell'ammontare della corrente che lo percorre, e varia inoltra da elemento a elemento. Per compensare tale inconveniente — ossia per evitare errori nelle indicazioni — il circuito dello strumento deve essere accuratamente progettato.

Dal momento che la resistenza di conduzione può variare da 2.000 a 500 ohm per una variazione di corrente nel raddrizzatore da 0,1 ad 1 mA, la taratura dello strumento non risulta lineare. Se si collega uno « shunt » in parallelo alla bobina mobile, ed entrambi vengono collegati in serie ad un raddrizzatore, (**figura 11**), la difficoltà è parzialmente eliminata.

Ad esempio, se lo strumento ha una sensibilità di 200 µA e la resistenza dello « shunt » è 1/4 di quella della bobina mobile, la corrente che percorre tale « shunt » sarà il quadruplo di quella che percorre l'equipaggio mobile; quando l'indice si trova a fondo scala, 800 µA scorrono nello « shunt », 200 µA nella bobina mobile, ed una corrente totale di 1.000 µA — ossia 1 mA — scorre attraverso il raddrizzatore. In questo caso, anche nelle letture più basse, il rettificatore viene percorso da una notevole corrente grazie all'uso dello « shunt», per cui la sua variazione di resistenza è trascurabile.

Tuttavia, dal momento che in questo caso la resistenza viene percorsa da una corrente di 1mA per l'intera deflessione dell'indice, lo strumento viene **ad** avere in effetti una bobina mobile da 1 mA invece che da 200 µA. E' cosa comune trovare in commercio degli strumenti multipli o multimetri, aventi una sensibilità in *ohm per volt* differente per le portate in c.c. da quella per le scale a c.a.; nei modelli più comuni, le portate in c.a. sono a 1.000 ohm per volt e, nei tipi migliori a 5.000 ohm per volt ed anche più.

La scala può essere pressochè lineare se i valori degli « shunt » vengono scelti in modo appropriato, per cui essa potrebbe essere utilizzata sia per le portate in c.c. che per quelle in c.a. tuttavia, i multimetri o « tester » sono quasi sempre muniti di scale con contrassegni separati per la c.a. (**figura 12**).

I circuiti degli strumenti possono comprendere una o più resistenze variabili per compensare le variazioni che possono verificarsi se il raddrizzatore dovesse essere sostituito (*R1* e *R2* nella **figura 13**). Per la taratura, si applica una tensione di valore noto, dopo di che, dette resistenze vengono variate fino ad ottenere una lettura esatta da parte dello strumento, ossia coincidente con la sua scala; fatto ciò la ritaratura è ultimata.

CARATTERISTICHE dei RADDRIZZATORI ad OSSIDO di RAME

I rettificatori ad ossido di rame possono avere una lunga durata se non vengono sovraccaricati, ma si deteriorano rapidamente se vengono impiegati ad una temperatura al di sopra dei 70° C. Un elemento tipico, la cui superficie sia di circa 5 mm², può rettificare una corrente di 15 mA e sopportare una tensione massima di 11 volt.

Precisione e responso di frequenza. Dal momento che l'inesattezza dello strumento si aggiunge a quella

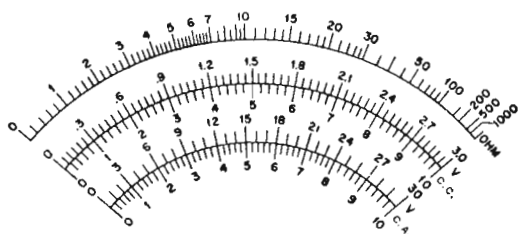



Fig. 12 — La diversa sensibilità dei complessi di misura (« tester ») alla corrente alternata ed alla corrente continua porta alla presenza di scale separate per i due tipi di misura, come dal disegno di cui sopra.

Fig. 13 — R_1 ed R_2 sono resistenze a valore regolabile, utili per la taratura del misuratore: se si devono sostituire i raddrizzatori, con la loro regolazione si può ripetere la taratura.

del raddrizzatore, la precisione dell'assieme si aggira di solito intorno al ± 5%.

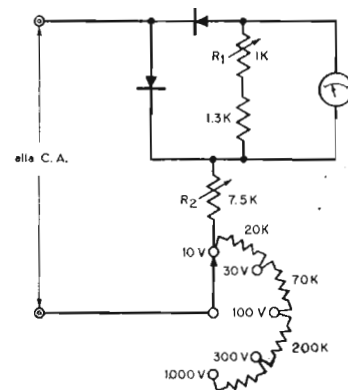
Quando la frequenza della tensione o della corrente da misurare aumenta, la lettura — ossia l'indicazione da parte dell'indice — diminuisce in proporzione. Ciò avviene a causa della capacità (circa 900 pF) dell'unità rettificatrice ad ossido di rame. Infatti, ad ogni aumento della frequenza, corrisponde una diminuzione della reattanza capacitiva che si comporta come un passaggio a bassa resistenza in parallelo all'elemento stesso. Le letture rispetto alla frequenza di rete diventano già dal 0,5 all'1% inferiori per frequenza attorno ai 1.000 Hertz.

Per questo motivo, gli strumenti in questione non vengono impiegati per effettuare misure con frequenze superiori a quelle udibili (fino a 16.000 Hz). Ad esempio, se si misura una corrente avente una frequenza di 5.000 Hz, lo strumento darà una lettura inferiore a quella effettiva di un ammontare variabile dal 2,5% al 5% a seconda del tipo usato.

Ricorderemo infine che la scala tende ad essere non uniforme verso il lato più basso a causa della variazione di resistenza del raddrizzatore col variare della corrente che lo percorre, come già abbiamo visto.

Gli strumenti provvisti di rettificatore ad ossido di rame possono essere usati sia per misure di tensione che di corrente: l'impiego più frequente tuttavia è quello come voltmetri. Nei confronti dei tipi già visti, a ferro mobile, essendo gli strumenti in questione di sensibilità molto maggiore, si ha un'influenza sulle caratteristiche del circuito sotto prova pressochè trascurabile.

CONFRONTO tra STRUMENTI per C.C. e C.A.

Gli strumenti per c.a. sono tarati sul valore efficace di un'onda sinusoidale, sebbene corrispondano al valore medio. Quando un misuratore per alternata viene inserito ai capi di una c.c. la lettura è pari a 1,11 volte il valore effettivo, (fattore di forma). Nel caso contrario, quando cioè uno strumento per c.c. viene usato per misurare una c.a., non si ottiene alcuna lettura; a causa della sua inerzia, l'equipaggio mobile non è in grado infatti di seguire le variazioni della corrente, per cui l'indice rimane a zero oppure vibra impercettibilmente. Ciò non significa però che non passi alcuna corrente attraverso lo strumento; infatti, in queste condizioni è facile deteriorare uno strumento, adattato ad una portata bassa, collegandolo ad una tensione alternata alta, anche se non si nota alcuna deviazione da parte dell'indice.

Nell'uso di uno strumento per c.a. non è necessario osservare la polarità dato che, come sappiamo, essa si inverte continuamente.

Nel caso si debbano misurare correnti alternate ad andamento non sinusoidale, è necessario controllare non solo l'ampiezza, ma anche la frequenza e la forma d'onda. Per questi scopi si usano allora altri strumenti che vedremo a suo tempo: tra essi prevale in particolare modo un'apparecchiatura oggi sempre più diffusa: **l'oscillografo.** Tale utilissimo strumento sarà dettagliatamente analizzato e presentato in apposite lezioni; esse recheranno anche un'ampia descrizione relativa alla costruzione di un moderno esemplare.

Un altro strumento molto importante ed abituale nei laboratori di radiotecnica è, come abbiamo detto all'inizio di lezione, il **voltmetro elettronico,** detto anche voltmetro a valvola. Per logiche ragioni di programma non abbiamo ancora affrontato l'argomento valvole termoioniche, ma ad esse abbiamo fatto cenno qualche volta: la valvola è un prezioso dispositivo che può svolgere molte funzioni nei circuiti elettronici, in particolare, funzioni di amplificazione. Opportunamente sfruttando le caratteristiche di una valvola si possono realizzare — in uno studiato abbinamento con lo strumento indicatore a bobina mobile — apparecchiature di lettura di tensioni sia a corrente continua che, soprattutto, a corrente alternata a radiofrequenza, di sensibilità molto spinta e di resistenza di carico (sul circuito sotto misura) elevatissima. La sensibilità, per i tipi di apparecchiature più correnti, arriva spesso all'ordine del millivolt (millesimo di volt) e la resistenza, o meglio l'impedenza di ingresso, a valori attorno ai 10 Megaohm. A corredo dei voltmetri a valvola sono quasi sempre offerte speciali « sonde » che consentono ulteriori, particolari prestazioni: così, mediante un dato tipo, si può estendere, ad esempio, la gamma di frequenza entro la quale le letture sono attendibili sino a 200-300 Megahertz. Un'altra sonda permette letture di picco della tensione alternata sulle scale per corrente continua, un'altra ancora, estende sino a 30.000 volt la possibilità di lettura. Tali sonde, realizzate a puntale, sono interposte, all'esterno, tra il voltmetro ed il punto di lettura.

SIMBOLI - ABBREVIAZIONI

C.A. (oppure c.a.) = Corrente alternata
C.C. (oppure c.c.) = Corrente continua
E (oppure e) . . = Tensione
E_{eff} . . . . . . = Tensione efficace
E_m . . . . . . = Tensione media
E_{max} . . . . . . = Tensione massima (o di picco, o di cresta)
I_{eff} . . . . . . = Corrente efficace
I_m . . . . . . = Corrente media
I_{max} . . . . . . = Corrente massima (o di picco, o di cresta)
v . . . . . . = Velocità in genere

FORMULE

e (in volt) $= B \times l \times v \times \text{sen}\ \vartheta \times 10^{-8}$

$$E_{eff} = \frac{E_{max}}{1{,}414} \qquad E_{eff} = E_{max} \times 0{,}707 \qquad E_{eff} = E_m \times 1{,}11$$

$$E_m = \frac{2E_{max}\ \text{(area del semiperiodo)}}{\text{lunghezza della base}} \qquad E_m = \frac{E_{max}}{\frac{\pi}{2}}$$

$$E_m = E_{max} \times 0{,}637 \qquad E_m = E_{eff} \times 0{,}9$$

$$E_{max} = E_{eff} \times 1{,}414 \qquad E_{max} = E_m \times \frac{\pi}{2}$$

$$I_{eff} = I_{max} \times 0{,}707 \qquad I_{eff} = \frac{I_{max}}{1{,}414}$$

$$I_m = I_{max} \times 0{,}637 \qquad I_m = \frac{2\ I_{max}\ \text{(area del semiperiodo)}}{\text{lunghezza della base}}$$

$$I_{max} = \frac{I_{eff}}{0{,}707} \qquad I_{max} = \frac{I_m}{0{,}637} \qquad I_{max} = I_{eff} \times 1{,}414$$

In un generatore c.a.,

$$f = \frac{P \times N}{2 \times 60} = \frac{P \times N}{120}\ \text{Hz}$$

F.e.m indotta (in volt) = linee tagliate al sec. $\times 10^{-8}$
Gradi elettrici = t_o (secondi) $\times$ f $\times$ 360°

SEGNI SCHEMATICI

 = Forma d'onda sinusoidale

 = Forma d'onda a dente di sega

 = Forma d'onda quadra

= Due elementi rettificatori in controfase

 = Quattro elementi rettificatori a ponte

DOMANDE sulle LEZIONI 22ª e 23ª

N. 1 —

Cosa si intende per corrente alternata? In cosa essa differisce dalla corrente continua?

N. 2 —

Quali sono gli svantaggi principali derivati dall'uso della corrente continua nei confronti della corrente alternata?

N. 3 —

Quali sono le maggiori scoperte scientifiche nel campo dell'elettricità dovute rispettivamente a Oersted, Faraday ed Henry?

N. 4 —

Quali sono i principali fattori che determinano l'ampiezza di una f.e.m. indotta in un conduttore che si muove in un campo magnetico?

N. 5 —

Con quale formula si calcola la tensione indotta in un conduttore che si muove in un campo magnetico con un certo angolo?

N. 6 —

Come si comporta l'ampiezza della f.e.m. indotta in un conduttore che ruota in un campo magnetico con angoli di rotazione di 90° e 0°?

N. 7 —

Come si determina la direzione di una f.e.m. indotta da un campo magnetico?

N. 8 —

Quali sono le caratteristiche fisiche di un generatore a due poli?

N. 9 —

Perchè si usa una curva sinusoidale per rappresentare una corrente alternata?

N. 10 —

Come si determina la frequenza della tensione prodotta da un generatore di corrente alternata, in funzione del numero dei poli e della velocità di rotazione?

N. 11 —

Definire i valori di tensione istantanea, di picco, ed efficace.

N. 12 —

Quale relazione intercorre tra tempo e fase in una corrente alternata?

N. 13 —

Quando due correnti sono in fase oppure sfasate?

N. 14 —

Con quali strumenti si può misurare indifferentemente sia in c.c. che in c.a. e, senza apportare alcuna modifica e senza aggiungere alcun componente?

N. 15 —

Come è possibile misurare correnti alternate con uno strumento provvisto di magnete permanente?

N. 16 —

Quanti tipi di rettificatori esistono?

RISPOSTE alle DOMANDE di Pag. 161

N. 1 —

a) La resistenza totale ammonta a 16,2 ohm circa, **b)** La corrente totale ammonta a 7,4 ampère, e **c)** Le correnti individuali sono: $I_1 = 2$ ampère, $I_2 = 2,4$ ampère e $I_3 = 3$ ampère.

N. 2 —

Il segno che precede la sorgente di f.e.m. è positivo se il primo segno incontrato nel percorso, passando attraverso la sorgente stessa è positivo, e viceversa. Il segno che precede la caduta di tensione ai capi di un carico è negativo se la direzione del percorso è la medesima degli elettroni (ossia della corrente) attraverso il carico stesso, e viceversa.

N. 3 —

L'errore eventuale non influisce minimamente sul valore dell'intensità di corrente calcolata. Il segno che precede la corrente sarà però invertito.

N. 4 —

I valori ohmici delle resistenze *A*, *B*, *C* e *D* sono rispettivamente 5 kohm, 3,33 kohm, 4 kohm e 2,22 kohm.

N. 5 —

a) Le correnti che scorrono attraverso R5, R6 ed R7 sono rispettivamente di 7, 11 e 17 milliampère.

b) Le tensioni presenti ai capi di R1, R2 ed R3 sono rispettivamente di 70, 180 e 350 volt.

N. 6 —

Il compito di un attenuatore è di ridurre — ossia di attenuare — la tensione, la corrente o la potenza fornita ad un carico, senza peraltro alterare il rapporto tra tensione e corrente (ossia la resistenza) presente tra i terminali di ingresso.

N. 7 —

R_s e la resistenza presente tra A e B sono eguali tra loro.

R1 è di 160 ohm, R2 di 50 ohm.

N. 8 —

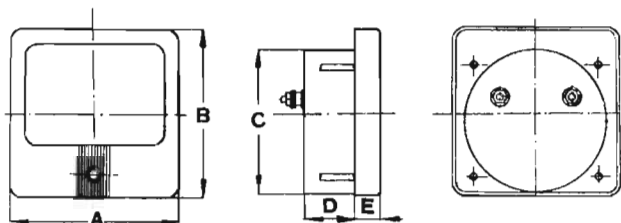
La resistenza presente tra *a* e *b*, e quella presente tra *e* ed *f* sono eguali tra loro.

R1 ed R3 sono di 20 ohm cisacuna, ed R2 è di 80 ohm.

N. 9 —

$I_1 = 3$ ampère; $I_3 = 2$ ampère.

TABELLA 39 - CARATTERISTICHE di STRUMENTI a BOBINA MOBILE

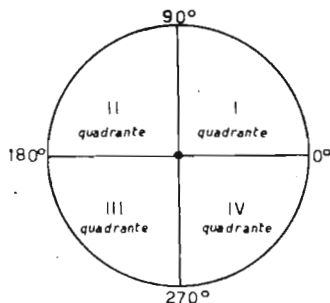
Riportiamo, nella tabella a lato, un elenco delle caratteristiche elettriche e meccaniche di alcuni strumenti di produzione nazionale. In particolare, per ogni modello, viene dato il valore della resistenza ohmica della bobina mobile (con tolleranza del 10% circa), utile per il calcolo degli « shunt », delle resistenze addizionali, e dei circuiti ohmetrici, a chi volesse progettare un « tester ». Tale valore è elencato nel medesimo ordine delle relative portate in mA, che figurano nella seconda colonna.

Marca e modello	Portate f. s. mA	Dimensioni in millimetri A	B	C	D	E	Resistenza bob. mobile ohm
I.C.E.							
300	0,05-0,1 0,5 -1	73	73	69	31	4,5	1.750-1.750 210- 50
320	0,05-0,1 0,5 -1	80	80	69,5	25	12	1.750-1.750 210- 50
340	0,05-0,1 0,5 -1	78	78	69,5	30	4,5	1.750-1.750 210- 50
360	0,05-0,1 0,5 -1	90	80	69	25	12	1.750-1.750 210- 50
500	0,05-0,1 0,5 -1	60	60	55	31	5	1.750-1.750 210- 50
520	0,05-0,1 0,5 -1	60,5	60,5	55	25,5	12,5	1.750-1.750 210- 50
540	0,05-0,1 0,5 -1	70	60	55	25,5	13	1.750-1.750 210- 50
800	0,05-0,1 0,5 -1	109	102	83	33,5	19	1.750-1.750 210- 50
840	0,05-0,1 0,5 -1	125	100	94	32	15	1.750-1.750 210- 50
860	0,05-0,1 0,5 -1	125	100	—	32	13	1.750-1.750 210- 50
Cristal A	0,05-0,1 0,5 -1	90	80	69	25	12	1.750-1.750 210- 50
Cristal B	0,05-0,1 0,5 -1	125	100	69	22	15	1.750-1.750 210- 50
Cristal C	0,05-0,1 0,5 -1	73	73	69	31	4,5	1.750-1.750 210- 50
CASSINELLI							
CI 15 Q	0,05-0,1 0,5 -1	60	60	55	34	5	2.000-1.000 100- 40
CI 15 R	0,05-0,1 0,5 -1	70	60	54	23	12	2.000-1.000 100- 40
CI 16 Q	0,05-0,1 0,5 -1	80	80	69	20	15	2.000-1.000 100- 40
CI 16 R	0,05-0,1 0,5 -1	92	80	69	23	13	2.000-1.000 100- 40
CI 62	0,05-0,1 0,5 -1	72	72	69	30	5	2.000-1.000 100- 40
CI 8 Q	0,05-0,1 0,5 -1	105	105	90	28	16,5	3.500-1.400 180- 50
CI 8 R	0,05-0,1 0,5 -1	125	102	90	27	16	3.500-1.400 180- 50
CI 8 A	0,05-0,1 0,5 -1	100	100	94	37	5	3.500-1.400 180- 50
CI 11 A	0,05-0,1 0,5 -1	144	144	136	90	5	4.000-1.700 250- 50
INDEX							
W 55 SS	0,05-0,1 0,5 -1	70	60	55	21	14	2.200-1.000 120- 60
W 70 SS	0,05-0,1 0,5 -1	90	80	70	21	14	6.000-2.700 300- 95
W 90 SS	0,05-0,1 0,5 -1	125	108	90	22	16	6.000-2.700 300- 95
W 110 SS	0,05-0,1 0,5 -1	165	140	110	52	20	7.000-3.300 300- 90

FUNZIONI TRIGONOMETRICHE

Nei triangoli rettangoli, quelli cioè nei quali uno degli angoli è di 90° (ossia la quarta parte esatta di un angolo giro completo di 360°) sussistono rapporti e relazioni speciali dette **funzioni trigonometriche.**

Allorchè per l'espressione grafica di alcuni problemi di carattere elettrico od elettronico si può ricorrere all'uso dei triangoli rettangoli (come avviene con la corrente alternata) è molto facile giungere ad una soluzione esatta e rapida mediante l'impiego appropriato di tali funzioni. Prima di enunciare i concetti fondamentali, è opportuno però rivedere come gli angoli vengono misurati agli effetti pratici.

Misura degli angoli

Fig. 1 — Dividendo la circonferenza con 2 diametri perpendicolari tra loro, si hanno quattro quadranti di 90°.

Come si può notare nella **figura 1,** la circonferenza è divisa in quattro parti eguali (*quadranti*) mediante due diametri perpendicolari, uno dei quali è orizzontale mentre l'altro è verticale. La parte destra dell'asse orizzontale, rispetto al centro, viene usata come linea di riferimento. Gli angoli sono costituiti da una rotazione in senso antiorario di detta linea, e vengono misurati in gradi, i quali sono 360 nell'intera rotazione della linea di riferimento intorno al centro. In altre parole, se si fa ruotare la linea intorno al centro (punto fermo al centro) in senso antiorario, fino al punto in cui essa ritorna nella posizione di partenza, si descrive un *angolo giro*; un grado ne è la 360ª parte. La circonferenza della figura 1 resta dunque divisa in quattro quadranti, ognuno dei quali comprende (360 : 4 = 90) 90°.

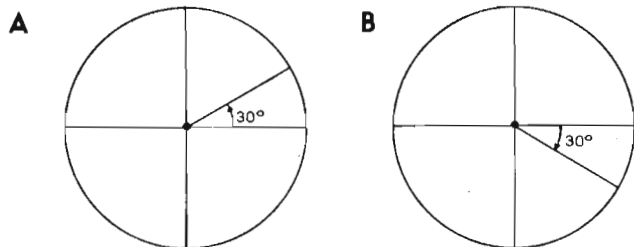



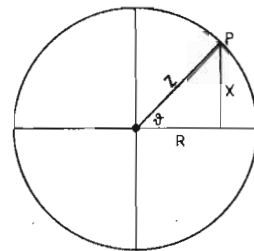
Fig. 2 — Gli angoli sono positivi in senso antiorario (A) e negativi in senso orario (B).

La misura degli angoli può essere effettuata anche in senso orario, nel qual caso i loro valori numerici sono negativi. Come è illustrato nella **figura 2-A,** abbiamo un angolo positivo di 30°, nella sezione **B** della figura si ha un angolo eguale, ma negativo.

Seno, Coseno e Tangente

Supponiamo ora di disegnare un raggio che vada dal centro di una circonferenza fino ad un punto qualsiasi *P* posto sulla stessa (**figura 3**); *P* si trova nel primo quadrante.

Se da detto punto tracciamo una linea perpendicolare

Fig. 3 — Mediante il triangolo rettangolo iscritto nel cerchio possiamo indicare il seno, il coseno e la tangente.

all'asse orizzontale, formiamo un triangolo rettangolo. Contrassegnamo il raggio con la lettera *Z*, il lato verticale — ossia l'altezza — con *X*, ed il lato orizzontale — ossia la base — con *R*; definiamo con la lettera greca θ (theta) il numero di gradi dell'angolo che il raggio forma con l'asse orizzontale.

Il raggio del cerchio è l'ipotenusa del triangolo rettangolo, e spesso viene denominato, come abbiamo visto nello studio della corrente alternata, *raggio vettore*.

Il **seno** di un angolo qualsiasi in un triangolo rettangolo è la lunghezza del lato opposto a detto angolo, divisa per la lunghezza dell'ipotenusa. Nel triangolo della figura 3 abbiamo perciò:

$$\text{sen}\ \theta = \frac{X}{Z}$$

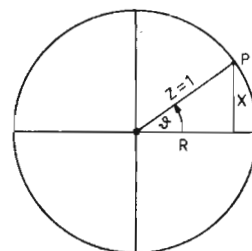
Il **coseno** di un angolo è la lunghezza del lato ad esso adiacente, divisa per la lunghezza dell'ipotenusa, per cui, riferendoci alla medesima figura, si ha:

$$\cos\ \theta = \frac{R}{Z}$$

La **tangente** di un angolo è la lunghezza del lato opposto all'angolo stesso, divisa per la lunghezza del lato adiacente, ossia:

$$\tan\ \theta = \frac{X}{R}$$

Supponiamo di disegnare un cerchio con un raggio pari ad 1 unità (**figura 4**). In questo caso abbiamo:

Fig. 4 — Quando il raggio equivale a 1, il seno dell'angolo ϑ è sempre eguale ad X.

$$\text{sen}\ \theta = \frac{X}{Z} = \frac{X}{1} = X$$

per cui se il raggio, ossia l'ipotenusa, equivale a uno, la lunghezza di *X* (la componente verticale) sarà sempre il seno dell'angolo.

Esaminiamo la **figura 5.** In essa si nota che nella sezione **A**, nella quale l'angolo θ è piccolo, anche la componente verticale *X* è piccola. Nella sezione **B** sia l'angolo che la componente verticale sono maggiori, ed in **C** — quando cioè l'angolo θ è di 90° — la componente verticale raggiunge la circonferenza nel punto *P*. Poichè in

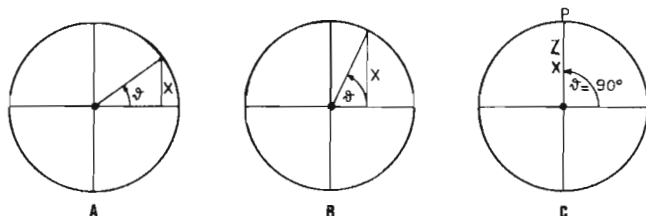



Fig. 5 — Con angolo piccolo (A) anche X è piccolo: esso aumenta con l'angolo (B) sino ad essere pari al raggio con un angolo di 90° (C).

questo caso la componente verticale assume la medesima lunghezza del raggio, si ha:

$$\text{sen } 90° = \frac{X}{Z} = \frac{1}{1} = 1$$

Ciò è molto importante da ricordare in quanto dimostra che il seno di 90° = 1.

A 90° il seno raggiunge il suo massimo valore, ossia la componente verticale raggiunge la lunghezza massima. È inoltre opportuno ricordare che il seno di un angolo non può mai essere maggiore di 1 in quanto la componente verticale non può mai superare il raggio.

Man mano che l'angolo θ aumenta da 90° a 180°, la componente verticale diminuisce nuovamente assumendo tutti i valori intermedi tra 1 e 0. A 180°, il raggio giace lungo l'asse orizzontale e la componente verticale non esiste. In questo caso si ha:

$$\text{sen } 180° = \frac{X}{Z} = \frac{0}{1} = 0$$

Man mano che l'angolo θ aumenta da 180° a 270°, la componente verticale si estende dall'asse orizzontale ad un punto della circonferenza posto lungo la metà inferiore. Si noti che, quando il triangolo rettangolo si forma nel terzo quadrante, la componente verticale giace appunto al di sotto dell'asse orizzontale (**figura 6-A**).

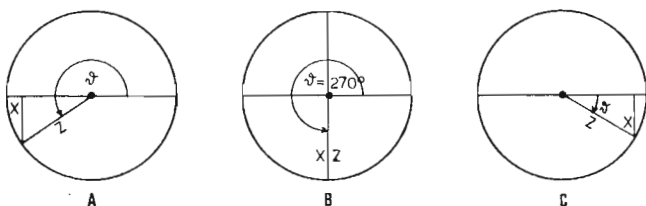



Fig. 6 — Con angoli oltre i 180° si entra nei quadranti posti sotto l'orizzontale: si hanno allora seni negativi.

Quando la componente verticale si trova al di sotto dell'asse orizzontale, il seno dell'angolo è negativo. Secondo una regola di trigonometria, il seno degli angoli compresi fra 180° e 360° è negativo.

In figura 6-**B**, θ ammonta a 270°; la componente verticale è nuovamente eguale al raggio Z, per cui anche il seno di 270° è equivalente a 1, ma ha un valore negativo. Cioè: sen 270° = —1

Si noti anche che un angolo positivo di 270° è eguale ad un angolo negativo di 90°.

Qualsiasi angolo positivo compreso tra 180° e 360° può essere individuato anche da un angolo negativo misurato in senso orario, partendo dall'asse di riferimento. Infatti, a tale sistema si ricorre spesso nello studio della corrente alternata in quanto costituisce un modo più semplice che non quello di considerare gli angoli positivi compresi tra 180° e 360°.

Nella figura 6-**C** ad esempio, si nota che è più conveniente considerare l'angolo θ come avente un valore negativo pari a —30° che non considerarlo come un angolo positivo pari a 330°. Nel quarto quadrante il seno dell'angolo varia da —1 a 270°, a 0, a 360° nuovamente.

Rivediamo ora brevemente ciò che accade al valore del seno di un angolo se quest'ultimo aumenta da 0° a 360°. Il valore del seno aumenta da 0, a 0°, fino ad un massimo di 1, a 90°, dopo di che diminuisce gradatamente a 0 a 180°. Il suo valore aumenta quindi in senso negativo finchè raggiunge il massimo valore negativo a 270°. Da 270° a 360° il valore negativo diminuisce fino a che cade a 0 nuovamente a 360°.

La curva sinusoidale

Nella **figura 7** sono illustrati tutti i valori di sen θ corrispondenti ad ogni variazione di 30° dell'angolo. Unendo i diversi punti si ottiene una curva come quella illustrata nella figura.

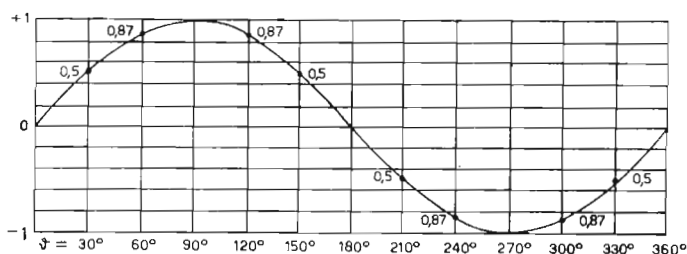



Fig. 7 — La curva sinusoidale nasce dall'unione dei punti rappresentanti i valori di seno dell'angolo ϑ.

L'asse orizzontale è contrassegnato ogni 30°, e l'asse verticale può raggiungere i valori massimi di +1 e —1. Quando i punti che rappresentano il seno dei vari angoli di θ vengono uniti da un tratto continuo, si ottiene una curva matematica detta curva sinusoidale. Tale curva è appunto quella usata, come ben sappiamo, per la rappresentazione grafica delle correnti e delle tensioni alternate che interessano lo studio dell'elettronica.

CONCETTI VETTORIALI

Le quantità vettoriali possono essere rappresentate graficamente mediante una linea retta.

La lunghezza di tale linea viene stabilita in modo tale da corrispondere proporzionalmente alla quantità vettoriale rappresentata.

La direzione della linea corrisponde a quella della quantità vettoriale; essa viene stabilita in base alle seguenti regole:

1) Tutti gli angoli vengono misurati dall'asse orizzontale che giace a destra del punto di incontro con l'asse verticale, detto « origine ».
2) Tutti gli angoli sono considerati positivi se misurati in senso antiorario rispetto alla posizione di partenza dell'asse orizzontale.
3) Tutti gli angoli sono considerati negativi se sono misurati in senso orario rispetto alla posizione di partenza dell'asse orizzontale.

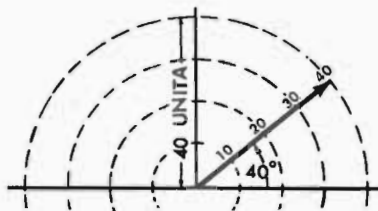



Fig. 8 — Rappresentazione di una quantità vettoriale di 40 unità in direzione di 40°.

Una quantità vettoriale la cui ampiezza ammonti a 40 unità in una direzione di 40° è rappresentata nella **figura 8.** Si noti la freccia che indica la direzione del vettore.

Una data ampiezza e direzione indica un vettore e solo quel vettore. I vettori espressi in tal guisa — ossia stabilendone soltanto l'ampiezza e la direzione — si dicono espressi in *forma polare*. Il vettore visibile nell'illustrazione può essere espresso in forma polare come segue:

$$40 < 40^\circ$$

Tale espressione deve essere letta «*40 con un angolo di 40°*».

Nello studio dei vettori è opportuno inoltre considerare due concetti essenziali. Il primo afferma che un vettore può essere spostato in una nuova posizione, parallela a quella originale, senza che esso subisca cambiamenti; il secondo afferma che un vettore può essere spostato in una nuova posizione qualsiasi lungo il suo asse, senza esserne alterato. Tali spostamenti, si noti, non alterano nè l'ampiezza nè la direzione, per cui il vettore rimane fedele alle sue caratteristiche; tuttavia, questi spostamenti possono essere utili in determinati casi per facilitare dei calcoli.

Somma di vettori

Due vettori possono essere sommati facendo in modo che il termine del primo corrisponda all'inizio del secondo, proseguendo nella direzione indicata. La somma o risultante è misurata dall'origine ed è costituita da un vettore la cui lunghezza è pari alla somma delle lunghezze dei due vettori che giacciono sulla stessa retta.

Sottrazione di vettori

Due vettori possono essere sottratti facendo in modo che giacciano sulla stessa retta e che una estremità del primo concida con una estremità del secondo. In tal modo il vettore di minore estensione coinciderà con una parte del vettore di estensione maggiore. La differenza consiste nella differenza di lunghezza tra i due vettori.

Moltiplicazione di vettori

Può capitare di dover moltiplicare o dividere due quantità vettoriali. Il prodotto di due quantità vettoriali può essere calcolato moltiplicando le ampiezze tra loro e sommando algebricamente gli angoli.

Se, ad esempio, si desidera moltiplicare $Z_1 = 10/20^\circ$ e $Z_2 = 15/30^\circ$, si procede come segue:

$$(Z_1)\ (Z_2) = (10/20^\circ)\ (15/30^\circ)$$
$$= (10)\ (15)\ /\ 20^\circ + 30^\circ$$
$$= 150/50^\circ$$

Divisione di vettori

La divisione di vettori viene effettuata in maniera inversa a quella con cui si effettua la moltiplicazione, ossia si dividono le ampiezze e si sottraggono algebricamente gli angoli.

TABELLA 40 - TAVOLE TRIGONOMETRICHE per la ricerca delle funzioni di un angolo

A pagina 171 abbiamo fatto cenno per la prima volta alle tavole trigonometriche la cui utilità risulta molto evidente ogni volta che si desidera trovare una funzione di un angolo. Queste tavole sono impostate come segue.

Per gli angoli da 0 a 45° si cerchi il valore dell'angolo nella **prima colonna.** I valori delle relative funzioni saranno quelli riportati sulla stessa riga e in corrispondenza delle **diciture superiori.** (Es. per angolo di 42°, il seno è 0,66913).

Per angoli superiori a 45° sino a 90° il valore è sull'**ultima colonna.** Le funzioni corrispondono alle **diciture inferiori.** (Es. per angolo di 48° il seno è 0,74314).

Per angoli maggiori di 90°, da 180° si sottragga il valore dell'angolo in questione e si cerchi la funzione dell'angolo di differenza, funzione che si farà precedere dal segno —.

Gradi	Seno	Coseno	Tangente	Cotangente	Gradi
0°,00'	0,00000	1,00000	0,00000	∞	90°,00'
0°,10'	0,00291	1,00000	0,00291	343,77371	89°,50'
0°,20'	0,00582	0,99998	0,00582	171,88540	89°,40'
0°,30'	0,00873	0,99996	0,00873	114,58865	89°,30'
0°,40'	0,01164	0,99993	0,01164	85,93979	89°,20'
0°,50'	0,01454	0,99989	0,01455	68,75009	89°,10'
1°,00'	0,01745	0,99985	0,01746	57,28996	89°,00'
1°,10'	0,02036	0,99979	0,02036	49,10388	88°,50'
1°,20'	0,02327	0,99973	0,02328	42,96408	88°,40'
1°,30'	0,02618	0,99966	0,02619	38,18846	88°,30'
1°,40'	0,02908	0,99958	0,02910	34,36777	88°,20'
1°,50'	0,03199	0,99949	0,03201	31,24158	88°,10'
2°,00'	0,03490	0,99939	0,03492	28,63625	88°,00'
2°,10'	0,03781	0,99929	0,03783	26,43160	87°,50'
2°,20'	0,04071	0,99917	0,04075	24,54176	87°,40'
2°,30'	0,04362	0,99905	0,04366	22,90377	87°,30'
2°,40'	0,04653	0,99892	0,04568	21,47040	87°,20'
2°,50'	0,04943	0,99878	0,04949	20,20555	87°,10'
3°,00'	0,05234	0,99863	0,05241	19,08114	87°,00'
3°,10'	0,05524	0,99847	0,05533	18,07498	86°,50'
3°,20'	0,05814	0,99831	0,05824	17,16934	86°,40'
3°,30'	0,06105	0,99813	0,06116	16,34986	86°,30'
3°,40'	0,06395	0,99795	0,06408	15,60478	86°,20'
3°,50'	0,06685	0,99776	0,06700	14,92442	86°,10'
4°,00'	0,06976	0,99756	0,06993	14,30067	86°,00'
4°,10'	0,07266	0,99736	0,07285	13,72674	85°,50'
4°,20'	0,07556	0,99714	0,07578	13,19688	85°,40'
4°,30'	0,07846	0,99692	0,07870	12,70621	85°,30'
4°,40'	0,08136	0,99668	0,08163	12,25051	85°,20'
4°,50'	0,08426	0,99644	0,08456	11,82617	85°,10'
5°,00'	0,08716	0,99619	0,08749	11,43005	85°,00'
5°,10'	0,09005	0,99594	0,09042	11,05943	84°,50'
5°,20'	0,09295	0,99567	0,09335	10,71191	84°,40'
5°,30'	0,09585	0,99540	0,09629	10,38540	84°,30'
5°,40'	0,09874	0,99511	0,09923	10,07803	84°,20'
5°,50'	0,10164	0,99482	0,10216	9,78817	84°,10'
6°,00'	0,10453	0,99452	0,10510	9,51436	84°,00'
6°,10'	0,10742	0,99421	0,10805	9,25530	83°,50'
6°,20'	0,11031	0,99390	0,11099	9,00983	83°,40'
6°,30'	0,11320	0,99357	0,11394	8,77689	83°,30'
6°,40'	0,11609	0,99324	0,11688	8,55555	83°,20'
6°,50'	0,11898	0,99290	0,11983	8,34496	83°,10'
7°,00'	0,12187	0,99255	0,12278	8,14435	83°,00'
7°,10'	0,12476	0,99219	0,12574	7,95302	82°,50'
7°,20'	0,12764	0,99182	0,12869	7,77035	82°,40'
7°,30'	0,13053	0,99144	0,13165	7,59575	82°,30'
7°,40'	0,13341	0,99106	0,13461	7,42871	82°,20'
7°,50'	0,13629	0,99067	0,13758	7,26873	82°,10'
8°,00'	0,13917	0,99027	0,14054	7,11537	82°,00'
8°,10'	0,14205	0,98986	0,14351	6,96823	81°,50'
8°,20'	0,14493	0,98944	0,14648	6,82694	81°,40'
8°,30'	0,14781	0,98902	0,14945	6,69116	81°,30'
8°,40'	0,15069	0,98858	0,15243	6,56055	81°,20'
8°,50'	0,15356	0,98814	0,15540	6,43484	81°,10'
9°,00'	0,15643	0,98769	0,15838	6,31375	81°,00'
9°,10'	0,15931	0,98723	0,16137	6,19703	80°,50'
9°,20'	0,16218	0,98676	0,16435	6,08444	80°,40'
9°,30'	0,16505	0,98629	0,16734	5,97576	80°,30'
9°,40'	0,16792	0,98580	0,17033	5,87080	80°,20'
9°,50'	0,17078	0,98531	0,17333	5,76937	80°,10'
10°,00'	0,17365	0,98481	0,17633	5,67128	80°,00'
10°,10'	0,17651	0,98430	0,17933	5,57638	79°,50'
10°,20'	0,17937	0,98378	0,18233	5,48451	79°,40'
10°,30'	0,18224	0,98325	0,18534	5,39552	79°,30'
10°,40'	0,18509	0,98272	0,18835	5,30928	79°,20'
10°,50'	0,18795	0,98218	0,19136	5,22566	79°,10'
Gradi	**Coseno**	**Seno**	**Cotangente**	**Tangente**	**Gradi**

Gradi	Seno	Coseno	Tangente	Cotangente	Gradi
11°,00′	0,19081	0,98163	0,19438	5,14455	79°,00′
11°,10′	0,19366	0,98107	0,19740	5,06584	78°,50′
11°,20′	0,19652	0,98050	0,20042	4,98940	78°,40′
11°,30′	0,19937	0,97992	0,20345	4,91516	78°,30′
11°,40′	0,20222	0,97934	0,20648	4,84300	78°,20′
11°,50′	0,20507	0,97875	0,20952	4,77286	78°,10′
12°,00′	0,20791	0,97815	0,21256	4,70463	78°,00′
12°,10′	0,21076	0,97754	0,21560	4,63825	77°,50′
12°,20′	0,21360	0,97692	0,21864	4,57363	77°,40′
12°,30′	0,21644	0,97630	0,22169	4,51071	77°,30′
12°,40′	0,21928	0,97566	0,22475	4,44942	77°,20′
12°,50′	0,22212	0,97502	0,22781	4,38969	77°,10′
13°,00′	0,22495	0,97437	0,23087	4,33148	77°,00′
13°,10′	0,22778	0,97371	0,23393	4,27471	76°,50′
13°,20′	0,23062	0,97304	0,23700	4,21933	76°,40′
13°,30′	0,23345	0,97237	0,24008	4,16530	76°,30′
13°,40′	0,23627	0,97169	0,24316	4,11256	76°,20′
13°,50′	0,23910	0,97100	0,24624	4,06107	76°,10′
14°,00′	0,24192	0,97030	0,24933	4,01078	76°,00′
14°,10′	0,24474	0,96959	0,25242	3,96165	75°,50′
14°,20′	0,24756	0,96887	0,25552	3,91364	75°,40′
14°,30′	0,25038	0,96815	0,25862	3,86671	75°,30′
14°,40′	0,25320	0,96742	0,26172	3,82083	75°,20′
14°,50′	0,25601	0,96667	0,26483	3,77595	75°,10′
15°,00′	0,25882	0,96593	0,26795	3,73205	75°,00′
15°,10′	0,26163	0,96517	0,27107	3,68909	74°,50′
15°,20′	0,26443	0,96440	0,27419	3,64705	74°,40′
15°,30′	0,26724	0,96363	0,27732	3,60588	74°,30′
15°,40′	0,27004	0,96285	0,28046	3,56557	74°,20′
15°,50′	0,27284	0,96206	0,28360	3,52609	74°,10′
16°,00′	0,27564	0,96126	0,28675	3,48741	74°,00′
16°,10′	0,27843	0,96046	0,28990	3,44951	73°,50′
16°,20′	0,28123	0,95964	0,29305	3,41236	73°,40′
16°,30′	0,28402	0,95882	0,29621	3,37594	73°,30′
16°,40′	0,28680	0,95799	0,29938	3,34023	73°,20′
16°,50′	0,28959	0,95715	0,30255	3,30521	73°,10′
17°,00′	0,29237	0,95630	0,30573	3,27085	73°,00′
17°,10′	0,29515	0,95545	0,30891	3,23714	72°,50′
17°,20′	0,29793	0,95459	0,31210	3,20406	72°,40′
17°,30′	0,30071	0,95372	0,31530	3,17159	72°,30′
17°,40′	0,30348	0,95284	0,31850	3,13972	72°,20′
17°,50′	0,30625	0,95195	0,32171	3,10842	72°,10′
18°,00′	0,30902	0,95106	0,32492	3,07768	72°,00′
18°,10′	0,31178	0,95015	0,32814	3,04749	71°,50′
18°,20′	0,31454	0,94924	0,33136	3,01783	71°,40′
18°,30′	0,31730	0,94832	0,33460	2,98869	71°,30′
18°,40′	0,32006	0,94740	0,33783	2,96004	71°,20′
18°,50′	0,32282	0,94646	0,34108	2,93189	71°,10′
19°,00′	0,32557	0,94552	0,34433	2,90421	71°,00′
19°,10′	0,32832	0,94457	0,34758	2,87700	70°,50′
19°,20′	0,33106	0,94361	0,35085	2,85023	70°,40′
19°,30′	0,33381	0,94264	0,35412	2,82391	70°,30′
19°,40′	0,33655	0,94167	0,35740	2,79802	70°,20′
19°,50′	0,33929	0,94068	0,36068	2,77254	70°,10′
20°,00′	0,34202	0,93969	0,36397	2,74748	70°,00′
20°,10′	0,34475	0,93869	0,36727	2,72281	69°,50′
20°,20′	0,34748	0,93769	0,37057	2,69853	69°,40′
20°,30′	0,35021	0,93667	0,37388	2,67462	69°,30′
20°,40′	0,35293	0,93565	0,37720	2,65109	69°,20′
20°,50′	0,35565	0,93462	0,38053	2,62791	69°,10′
21°,00′	0,35837	0,93358	0,38386	2,60509	69°,00′
21°,10′	0,36108	0,93253	0,38721	2,58261	68°,50′
21°,20′	0,36379	0,93148	0,39055	2,56046	68°,40′
21°,30′	0,36650	0,93042	0,39391	2,53865	68°,30′
21°,40′	0,36921	0,92935	0,39727	2,51715	68°,20′
21°,50′	0,37191	0,92827	0,40065	2,49597	68°,10′
22°,00′	0,37461	0,92718	0,40403	2,47509	68°,00′
22°,10′	0,37730	0,92609	0,40741	2,45451	67°,50′
22°,20′	0,37999	0,92499	0,41081	2,43422	67°,40′
22°,30′	0,38268	0,92388	0,41421	2,41421	67°,30′
22°,40′	0,38537	0,92276	0,41763	2,39449	67°,20′
22°,50′	0,38805	0,92164	0,42105	2,37504	67°,10′
23°,00′	0,39073	0,92050	0,42447	2,35585	67°,00
23°,10′	0,39341	0,91936	0,42791	2,33693	66°,50′
23°,20′	0,39608	0,91822	0,43136	2,31826	66°,40′
23°,30′	0,39875	0,91706	0,43481	2,29984	66°,30′
23°,40′	0,40142	0,91590	0,43828	2,28167	66°,20′
23°,50′	0,40408	0,91472	0,44175	2,26374	66°,10′
24°,00′	0,40674	0,91355	0,44523	2,24604	66°,00′
24°,10′	0,40939	0,91236	0,44872	2,22857	65°,50′
24°,20′	0,41204	0,91116	0,45222	2,21132	65°,40′
24°,30′	0,41469	0,90996	0,45573	2,19430	65°,30′
24°,40′	0,41734	0,90875	0,45924	2,17749	65°,20′
24°,50′	0,41998	0,90753	0,46277	2,16090	65°,10′
25°,00′	0,42262	0,90631	0,46631	2,14451	65°,00′
25°,10′	0,42525	0,90507	0,46985	2,12832	64°,50′
25°,20′	0,42788	0,90383	0,47341	2,11233	64°,40′
25°,30′	0,43051	0,90259	0,47698	2,09654	64°,30′
25°,40′	0,43313	0,90133	0,48055	2,08094	64°,20′
25°,50′	0,43576	0,90007	0,48414	2,06553	64°,10′
26°,00′	0,43837	0,89879	0,48773	2,05030	64°,00′
26°,10′	0,44098	0,89752	0,49134	2,03526	63°,50′
26°,20′	0,44359	0,89623	0,49495	2,02039	63°,40′
26°,30′	0,44620	0,89493	0,49858	2,00569	63°,30′
26°,40′	0,44880	0,89363	0,50222	1,99116	63°,20′
26°,50′	0,45140	0,89232	0,50587	1,97680	63°,10′
27°,00′	0,45399	0,89101	0,50953	1,96261	63°,00′
27°,10′	0,45658	0,88968	0,51320	1,94858	62°,50′
27°,20′	0,45917	0,88835	0,51688	1,93470	62°,40′
27°,30′	0,46175	0,88701	0,52057	1,92098	62°,30′
27°,40′	0,46433	0,88566	0,52427	1,90741	62°,20′
27°,50′	0,46690	0,88431	0,52798	1,89400	62°,10′
Gradi	Coseno	Seno	Cotangente	Tangente	Gradi

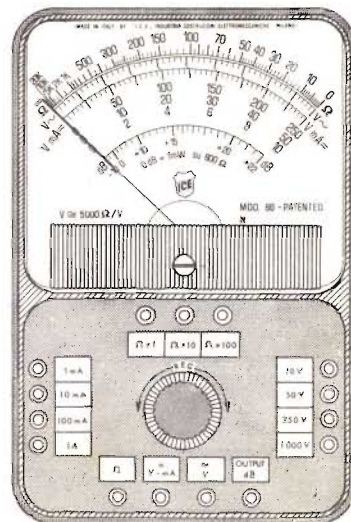
Gradi	Seno	Coseno	Tangente	Cotangente	Gradi
28°,00′	0,46947	0,88295	0,53171	1,88073	62°,00′
28°,10′	0,47204	0,88158	0,53545	1,86760	61°,50′
28°,20′	0,47460	0,88020	0,53920	1,85462	61°,40′
28°,30′	0,47716	0,87882	0,54296	1,84177	61°,30′
28°,40′	0,47971	0,87743	0,54673	1,82906	61°,20′
28°,50′	0,48226	0,87603	0,55051	1,81649	61°,10′
29°,00′	0,48481	0,87462	0,55431	1,80405	61°,00′
29°,10′	0,48735	0,87321	0,55812	1,79174	60°,50′
29°,20′	0,48989	0,87178	0,56194	1,77955	60°,40′
29°,30′	0,49242	0,87036	0,56577	1,76749	60°,30′
29°,40′	0,49495	0,86892	0,56962	1,75556	60°,20′
29°,50′	0,49748	0,86748	0,57348	1,74375	60°,10′
30°,00′	0,50000	0,86603	0,57735	1,73205	60°,00′
30°,10′	0,50252	0,86457	0,58124	1,72047	59°,50′
30°,20′	0,50503	0,86310	0,58513	1,70901	59°,40′
30°,30′	0,50754	0,86163	0,58905	1,69766	59°,30′
30°,40′	0,51004	0,86015	0,59297	1,68643	59°,20′
30°,50′	0,51254	0,85866	0,59691	1,67530	59°,10′
31°,00′	0,51504	0,85717	0,60086	1,66428	59°,00′
31°,10′	0,51753	0,85567	0,60483	1,65337	58°,50′
31°,20′	0,52002	0,85416	0,60881	1,64256	58°,40′
31°,30′	0,52250	0,85264	0,61280	1,63185	58°,30′
31°,40′	0,52498	0,85112	0,61681	1,62125	58°,20′
31°,50′	0,52745	0,84959	0,62083	1,61074	58°,10′
32°,00′	0,52992	0,84805	0,62487	1,60033	58°,00′
32°,10′	0,53238	0,84650	0,62892	1,59002	57°,50′
32°,20′	0,53484	0,84495	0,63299	1,57981	57°,30′
32°,30′	0,53730	0,84339	0,63707	1,56969	57°,40′
32°,40′	0,53975	0,84182	0,64117	1,55966	57°,20′
32°,50′	0,54220	0,84025	0,64528	1,54972	57°,10′
33°,00′	0,54464	0,83867	0,64941	1,53987	57°,00′
33°,10′	0,54708	0,83708	0,65355	1,53010	56°,50′
33°,20′	0,54951	0,83549	0,65771	1,52043	56°,40′
33°,30′	0,55194	0,83389	0,66189	1,51084	56°,30′
33°,40′	0,55436	0,83228	0,66608	1,50133	56°,20′
33°,50′	0,55678	0,83066	0,67028	1,49190	56°,10′
34°,00′	0,55919	0,82904	0,67451	1,48256	56°,00′
34°,10′	0,56160	0,82741	0,67875	1,47330	55°,50′
34°,20′	0,56401	0,82577	0,68301	1,46411	55°,40′
34°,30′	0,56641	0,82413	0,68728	1,45501	55°,30′
34°,40′	0,56880	0,82248	0,69157	1,44598	55°,20′
34°,50′	0,57119	0,82082	0,69588	1,43703	55°,10′
35°,00′	0,57358	0,81915	0,70021	1,42815	55°,00′
35°,10′	0,57596	0,81748	0,70455	1,41934	54°,50′
35°,20′	0,57833	0,81580	0,70891	1,41061	54°,40′
35°,30′	0,58070	0,81412	0,71329	1,40195	54°,30′
35°,40′	0,58307	0,81242	0,71769	1,39336	54°,20′
35°,50′	0,58543	0,81072	0,72211	1,38484	54°,10′
36°,00′	0,58779	0,80902	0,72654	1,37638	54°,00′
36°,10′	0,59014	0,80730	0,73100	1,36800	53°,50′
36°,20′	0,59248	0,80558	0,73547	1,35968	53°,40′
36°,30′	0,59482	0,80386	0,73996	1,35142	53°,30′
36°,40′	0,59716	0,80212	0,74447	1,34323	53°,20′
36°,50′	0,59949	0,80038	0,74900	1,33511	53°,10′
37°,00′	0,60182	0,79864	0,75355	1,32704	53°,00′
37°,10′	0,60414	0,79688	0,75812	1,31904	52°,50′
37°,20′	0,60645	0,79513	0,76272	1,31110	52°,40′
37°,30′	0,60876	0,79335	0,76733	1,30323	52°,30′
37°,40′	0,61107	0,79158	0,77196	1,29541	52°,20′
37°,50′	0,61337	0,78980	0,77661	1,28764	52°,10′
38°,00′	0,61566	0,78801	0,78129	1,27994	52°,00′
38°,10′	0,61795	0,78622	0,78598	1,27230	51°,50′
38°,20′	0,62024	0,78442	0,79070	1,26471	51°,40′
38°,30′	0,62251	0,78261	0,79544	1,25717	51°,30′
38°,40′	0,62479	0,78079	0,80020	1,24969	51°,20′
38°,50′	0,62706	0,77897	0,80498	1,24227	51°,10′
39°,00′	0,62932	0,77715	0,80978	1,23490	51°,00′
39°,10′	0,63158	0,77531	0,81461	1,22758	50°,50′
39°,20′	0,63383	0,77347	0,81946	1,22031	50°,40′
39°,30′	0,63608	0,77162	0,82434	1,21310	50°,30′
39°,40′	0,63832	0,76977	0,82923	1,20593	50°,20′
39°,50′	0,64056	0,76791	0,83415	1,19882	50°,10′
40°,00′	0,64279	0,76604	0,83910	1,19175	50°,00
40°,10′	0,64501	0,76417	0,84407	1,18474	49°,50′
40°,20′	0,64723	0,76229	0,84906	1,17777	49°,40′
40°,30′	0,64945	0,76041	0,85408	1,17085	49°,30′
40°,40′	0,65166	0,75851	0,85912	1,16398	49°,20′
40°,50′	0,65386	0,75661	0,86419	1,15715	49°,10′
41°,00′	0,65606	0,75471	0,86929	1,15037	49°,00′
41°,10′	0,65825	0,75280	0,87441	1,14363	48°,50′
41°,20′	0,66044	0,75088	0,87955	1,13694	48°,40′
41°,30′	0,66262	0,74896	0,88473	1,13029	48°,30′
41°,40′	0,66480	0,74703	0,88992	1,12369	48°,20′
41°,50′	0,66697	0,74509	0,89515	1,11713	48°,10′
42°,00′	0,66913	0,74314	0,90040	1,11061	48°,00′
42°,10′	0,67129	0,74120	0,90569	1,10414	47°,50′
42°,20′	0,67344	0,73924	0,91099	1,09770	47°,40′
42°,30′	0,67559	0,73728	0,91633	1,09131	47°,30′
42°,40′	0,67773	0,73531	0,92170	1,08496	47°,20′
42°,50′	0,67987	0,73333	0,92709	1,07864	47°,10′
43°,00′	0,68200	0,73135	0,93252	1,07237	47°,00′
43°,10′	0,68412	0,72937	0,93797	1,06613	46°,50′
43°,20′	0,68624	0,72737	0,94345	1,05994	46°,40′
43°,30′	0,68835	0,72537	0,94896	1,05378	46°,30′
43°,40′	0,69046	0,72337	0,95451	1,04766	46°,20′
43°,50′	0,69256	0,72136	0,96008	1,04158	46°,10′
44°,00′	0,69466	0,71934	0,96569	1,03553	46°,00′
44°,10′	0,69675	0,71732	0,97133	1,02952	45°,50′
44°,20′	0,69883	0,71529	0,97700	1,02355	45°,40′
44°,30′	0,70091	0,71325	0,98270	1,01761	45°,30′
44°,40′	0,70298	0,71121	0,98843	1,01170	45°,20′
44°,50′	0,70505	0,70916	0,99420	1,00583	45°,10′
45°,00′	0,70711	0,70711	1,00000	1,00000	45°,00′
Gradi	Coseno	Seno	Cotangente	Tangente	Gradi

Sul prossimo fascicolo

una lezione dedicata interamente agli ohmetri e
due lezioni riguardanti gli analizzatori o "tester"

Descrizione dettagliata, con numerosi disegni, per la costruzione di:

1 "tester" a 1.000 ohm per volt
1 "tester" a 5.000 ohm per volt

L'analizzatore portatile a 5.000 ohm per volt — qui illustrato — è uno strumento modernissimo e completo, progettato per i nostri lettori da una grande industria nazionale specializzata nel ramo. Esso potrà essere realizzato con piena sicurezza circa i risultati ottenibili: tutte le parti sono state progettate in funzione del loro compito. L'assieme finito presenta un aspetto altamente professionale anche se l'apparecchio viene costruito da un dilettante. Possibilità di scelta, nell'acquisto, tra scatola di montaggio completa e apparecchio già montato: in ogni caso il prezzo del "tester" risulta molto conveniente.

PRENOTATE SUBITO ALL'EDICOLA IL PROSSIMO NUMERO (Lezioni 25ª - 26ª - 27ª).

Saranno argomento di questo Corso, tra l'altro: i **transistori** questi nuovi, rivoluzionari organi delle più recenti realizzazioni dell'elettronica. L'impiego dei transistori si estende rapidamente: sono già numerosi i ricevitori e gli amplificatori in commercio che ne sono dotati e il loro numero è indubbiamente destinato ad accrescersi perchè i transistori sostituiranno con ampia percentuale, le valvole termoioniche. E' perciò necessario che il radiotecnico li conosca, sappia applicarli, si renda conto di quanto e di come differiscano dalle valvole, sia aggiornato nei tipi e nelle caratteristiche. Saranno descritti numerosi montaggi di ricevitori, trasmettitori e dispositivi elettronici da realizzare con l'impiego di transistori.

La modulazione di frequenza o F.M., come viene correntemente definita, è il sistema di trasmissione radiofonica che in questi ultimi anni è venuto ad affiancarsi a quello classico della modulazione di ampiezza. Che cosa sia la F.M., quali caratteristiche presenti, come funzionino e si realizzino i ricevitori per F.M. sarà ampiamente detto durante lo svolgimento del Corso. Oramai anche i ricevitori più economici sono caratterizzati dalla possibilità di ricezione della modulazione di frequenza: il radioamatore, e più ancora il radioriparatore, devono perciò rendersi pienamente consci della tecnica relativa, degli schemi, e dei particolari circuiti.

Un'altra tecnica in piena evoluzione è quella dell'**Alta Fedeltà**. Le esigenze per ciò che riguarda la fedeltà di riproduzione sonora sono notevolmente aumentate. Il materiale relativo alla sezione di Bassa Frequenza di molti ricevitori nonchè quello di appositi amplificatori, rivelatori e riproduttori si è andato e si va vieppiù affinando e perfezionando; ne risultano nuove tecniche, nuove disposizioni circuitali, nuovi accorgimenti che è duopo conoscere. Citiamo in proposito **la registrazione magnetica** che ha visto un rapido espandersi dei magnetofoni, cui fa riscontro, nella battaglia tra il nastro e il disco, il microsolco. Ora, entrambi hanno affinata la loro tecnica con la **riproduzione stereofonica**.

In questi ultimi tempi hanno fatto la loro comparsa ricevitori e amplificatori montati secondo il sistema dei **circuiti stampati**. Si tratta di pannelli caratterizzati dal fatto che i collegamenti necessari all'unione dei vari componenti sono già esistenti sul pannello stesso, sotto forma di un conduttore che viene ricavato seguendo alcune fasi della tecnica di stampa. E' evidente che un tale sistema — adottato anche parzialmente, e cioè in sole sezioni di un complesso — reca riduzioni di costo notevoli se l'apparecchio viene prodotto in grande serie. E' intuitivo anche che il tecnico debba d'ora in poi sapere quali sono i punti delicati e come ci si debba comportare nei confronti di questo nuovo metodo realizzativo. Il nostro Corso, al momento opportuno, affronta l'argomento e lo illustra nei suoi più minuti dettagli.

Una tra le più allettanti attività in campo radio è quella della **trasmissione dilettantistica**. Chiunque può ottenere la licenza di trasmissione previo un facile esame su argomenti e materia che il nostro Corso ampiamente espone ma esso, in proposito, non si limita alla preparazione per il superamento dell'esame: riporta descrizioni di trasmettitori e ricevitori appositi da realizzarsi, riporta le norme che regolano l'attività, le caratteristiche dei materiali idonei, indirizzi, prefissi, abbreviazioni, ecc. Va ricordato che questa della trasmissione, cioè delle comunicazioni a distanza tra amatori di tutto il mondo, è la forma più suggestiva e appassionante di attività radiotecnica; è proprio tale attività che assai spesso porta alla formazione dei più abili tecnici, come ampiamente l'esperienza dimostra. E' pertanto un passatempo del più alto valore istruttivo che molto spesso contribuisce anche al nascere di amicizie e relazioni con radioamatori di tutti i continenti.

IMPORTANTE! : se vi interessano i prossimi fascicoli datene subito avviso al vostro giornalaio!

Per un anno,
a domicilio,
un completo Corso
che vi costa
un decimo
di tutti gli altri Corsi

Vi formerete
un volume
di ben 1248 pagine:
un prezioso
manuale-enciclopedia
di elettronica

corso di RADIOTECNICA

pubblicazione settimanale - 26 nov. - 3 dic. 1960 - un fascicolo lire 150

9° numero

corso di RADIOTECNICA

settimanale a carattere culturale

Direzione, Amministrazione, Pubblicità:
Via dei Pellegrini 8/4 - Telef. 593.478

MILANO

Ogni fascicolo — contenente 3 lezioni — costa lire 150, acquistato alle edicole.

Se l'edicola risulta sprovvista, o si teme di rimanere privi di qualche numero, si chieda invio settimanale direttamente al proprio domicilio a mezzo abbonamento.

Il versamento per ricevere i 52 fascicoli costituenti l'intero Corso è di lire 6500 + I.G.E. = lire 6630. A mezzo vaglia postale, assegno bancario, o versamento sul conto corr. postale 3/41.203 del « Corso di RADIOTECNICA » - Via dei Pellegrini 8-4 - Milano.

In ogni caso, scrivere in modo molto chiaro e completo il proprio indirizzo.

L'abbonamento può essere effettuato in qualsiasi momento; si intende comprensivo delle lezioni pubblicate e dà diritto a ricevere tali lezioni, che saranno inviate con unica spedizione.

Estero: abbonamento al Corso, Lit. 8.500. ($ 15). Numeri singoli Lit. 300 ($ 0,50).

Per i cambi di indirizzo durante lo svolgimento del Corso, unire lire 100, citando sempre il vecchio indirizzo.

Fascicoli singoli arretrati — se disponibili — possono essere ordinati a lire 300 cadauno.

Non si spedisce contrassegno.

Distribuzione alle edicole di tutta Italia: Diffus. Milanese . Via Soperga, 57 - Milano.

Direttore responsabile: Giulio Borgogno.

Autorizzaz. N. 5357 - Tribunale di Milano.

Stampa: Intergrafica S.r.l. - Cologno Monzese.

La Direzione non rivende materiale radio; essa può comunicare, se richiesta, indirizzi di Fabbricanti, Importatori, Grossisti ecc. in grado di fornire il necessario ed ai quali il lettore può rivolgersi direttamente.

Alla corrispondenza con richiesta di informazioni ecc. si prega allegare sempre il **francobollo per la risposta.**

Parte del testo e delle illustrazioni è dovuta alla collaborazione del Bureau of Naval Personnel, nonchè al Dept of the Army and the Air Force - U.S.A.

A chi può essere utile questo Corso? Anzitutto — stante la sua impostazione — il Corso, basato sull'esposizione in forma a tutti accessibile, della radiotecnica, dai suoi elementi basilari alla evoluzione più recente, rappresenta la forma ideale per tutti coloro che intendono dedicarsi all'elettronica, sia come forma ricreativa sia — soprattutto — per l'acquisizione di una professione specializzata che possa procurare loro una posizione di privilegio in seno alla società odierna.

Anno per anno, la nostra civiltà si indirizza sempre più verso questa meravigliosa, si potrebbe dire fascinosa, elettronica, che nel modo più evidente consente sviluppi impensati, progressi grandiosi e una rapida evoluzione di tutti gli altri rami dello scibile che essa tocca e influenza.

L'industria, tutta l'industria, nel senso più ampio, da quella elettrotecnica a quella meccanica, alla metallurgica, alla chimica ecc., con i suoi laboratori di ricerca e le sue fabbriche richiede, e richiederà sempre più, con un ritmo rapidamente crescente, tecnici specializzati con conoscenza dell'elettronica, tecnici specificatamente elettronici e persino operai e impiegati di ogni ordine e categoria con cognizioni di elettronica.

Si può dire che anche le branche commerciali, quelle dei trasporti e persino quelle amministrative con le recenti introduzioni delle calcolatrici, abbisognano di personale che conosca i principi dell'elettronica, le macchine relative, il loro pieno sfruttamento, la eventuale riparazione ecc. e, quanto più in modo completo, quanto meglio.

Nasce, da una tale situazione, una logica conseguenza: per la scelta di una professione o di un mestiere, per un miglioramento della propria posizione sociale, per l'intrapresa di una libera attività o anche per la sola acquisizione di cognizioni che indubbiamente verranno oltremodo utili, è quanto mai opportuno riflettere se non sia conveniente dedicare un po' di tempo allo studio di questa scienza che ha tra l'altro il pregio di rendersi immediatamente attraente, concreta, accessibile e foriera di moltissime soddisfazioni.

A questo scopo appunto, e con questi intenti, è stato redatto questo Corso.

Non mancano invero altri corsi (specie per corrispondenza) o scuole di radiotecnica, nè mancano (sebbene siano in numero del tutto inadeguato) scuole statali o pareggiate ma la struttura e l'impostazione che caratterizzano queste 156 lezioni sono alquanto particolari, presentando non pochi vantaggi sulle diverse altre forme di cui si è detto.

Anzitutto vogliamo porre in evidenza **il fattore economico.**

Frequentare regolarmente, durante tutto l'anno, una scuola è certo il modo più logico — anche se non il più rapido — per apprendere ma, tralasciando il fatto che rarissimi sono gli Istituti di radiotecnica, è a tutti possibile dedicarsi esclusivamente, e per l'intero anno, allo studio? Noi riteniamo che chi può farlo costituisca oggi assai più l'eccezione che la regola. Ciò significa infatti poter disporre liberamente del proprio tempo senza avere la necessità di un contemporaneo guadagno: il nostro Corso permette a chiunque di studiare a casa propria, nelle ore libere dal lavoro, senza abbandonare o trascurare quest'ultimo. Ciò caratterizza invero anche altri corsi, ma il vantaggio economico diviene notevole ed evidentissimo se si considera che di fronte all'esborso, anche se rateale, di quasi 80.000 lire che i corsi per corrispondenza richiedono, seguendo il nostro Corso la spesa in un anno risulta di poco più di 7500 lire (150 lire alla settimana presso un'edicola) o di 6630 lire totali, con recapito postale, settimanale, delle lezioni a domicilio.

E' superfluo dire che la Modulazione di Frequenza, i transistori, i circuiti stampati, la trasmissione, il telecomando ecc. sono argomenti integrali del Corso e non costituiscono motivo di corsi speciali, aggiunti o particolari.

Le lezioni di questo Corso — a differenza di molte altre — non sono stampate con sistemi di dispensa, a ciclostile, o con sistemi più o meno analoghi, derivanti cioè da un originale battuto a macchina da scrivere; esse sono stampate in uno stabilimento grafico con chiari caratteri tipografici da cui deriva una assai più agevole lettura e — fattore certamente di non secondaria importanza — un contenuto molto più ampio, corrispondendo una pagina a stampa a tre o quattro pagine di quelle citate. Il lettore avrà, alla fine del Corso, un volume di ben 1248 pagine di grande formato!

Chiunque, indipendentemente dall'età, dalla professione e dalle scuole compiute **può seguire il Corso.** Alle esposizioni teoriche si abbinano numerose, attraenti, istruttive ed utili descrizioni che consentono la realizzazione di ricevitori, amplificatori, strumenti vari e persino di trasmittenti su onde corte.

A questo proposito è sintomatico il fatto che la Direzione non vuole assolutamente assumere la fisionomia di un fornitore o commerciante di materiale radio, rivendendo agli allievi le parti necessarie. Il materiale occorrente l'interessato può acquistarlo dove e come meglio crede e, assai spesso anzi, già ne dispone. Viene così evitato l'acquisto forzoso, caratteristico più o meno di tutti gli altri corsi.

Anche chi è già radiotecnico, anche chi ha seguito o segue altri corsi troverà il massimo tornaconto in questo completo ed aggiornato lavoro. Molte nozioni, è logico, saranno note, altre un po' meno e sarà utile rinfrescarle, e il tutto infine costituirà un manuale di consultazione, prezioso tanto per la teoria esposta quanto per i numerosi schemi, per le tabelle, per i grafici, gli elenchi, i dati, il vocabolario dei termini ecc.

Concludendo, si può affermare che questo **Corso di Radiotecnica** oltre che come insegnamento graduale si presenta come **enciclopedia e rivista assieme** ciò che permette di formare — con modestissima spesa — **il più completo, ricco, utile e pratico volume di radiotecnica di cui sia dato oggigiorno disporre.**

GLI OHMETRI

L'ohmetro è uno strumento che indica il valore di resistenza di un singolo elemento di circuito — o addirittura di un intero circuito complesso — su una scala preventivamente tarata in ohm. L'ohmetro viene spesso utilizzato anche per un impiego più corrente e richiedente minore precisione: la semplice verifica della continuità di un circuito oppure un accertamento del cosiddetto « corto circuito ». Opportunamente modificato può servire infine anche per effettuare misure approssimative di capacità.

Esso è perciò, come si può intuire, uno degli strumenti basilari della radiotecnica, evidentemente della medesima importanza del voltmetro e dell'amperometro ai quali — come vedremo — spesso si unisce.

L'ohmetro consiste in sintesi, in uno strumento sensibile, in una sorgente di bassa tensione a c.c., ed in varie resistenze limitatrici di corrente. Il primo è generalmente un milliampèrometro o microampèrometro convenzionale del tipo a bobina mobile; la tensione viene fornita di solito da una pila contenuta nella cassetta dello strumento stesso o ad esso collegata.

I valori resistivi in uso nelle apparecchiature elettroniche variano da frazioni di ohm a diversi milioni di ohm (Megaohm = Mohm). La maggior parte degli ohmetri perciò è costruita in modo da coprire un certo numero di gamme — dai valori più bassi a quelli più alti — collegando opportunamente varie resistenze limitatrici nel circuito. Le diverse gamme possono essere poi scelte mediante il collegamento dei puntali (terminali o cavi di prova) ad opportune boccole, oppure mediante la rotazione di un apposito commutatore; in quest'ultimo caso due sole boccole sono sufficienti a tutte le misure, in quanto comuni a tutte le portate.

La scala dello strumento può essere tarata in modo da avere dei valori determinati per ogni portata, oppure si può avere un'unica scala i cui valori devono essere moltiplicati per un determinato fattore a seconda della portata scelta.

OHMETRO in SERIE

Nel circuito ohmetrico basilare della **figura 1**, si notano una batteria da 4.5 volt, una resistenza variabile *Ra*, ed una resistenza fissa *Rb* collegate in serie ad un milliampèrometro. I due collegamenti (puntali) contrassegnati *P1* e *P2* rappresentano i terminali di prova che devono essere portati in contatto con i capi della resistenza da misurare, *Rx*. Lo strumento ha una portata da 0 a 1 mA a fondo scala; ciò vuol dire, come ben sappiamo, che il suo indice compie una deflessione completa con una corrente di 1 mA. La sua resistenza interna è di 50 ohm. La resistenza fissa *Rb* limita il passaggio della corrente ed è collocata nel circuito allo scopo di evitare danni allo strumento; in mancanza di questa infatti, se la resistenza variabile *Ra* fosse portata ad un valore basso, ossia di pochi ohm, il passaggio di corrente potrebbe essere eccessivo all'atto della chiusura del circuito attraverso i puntali.

La resistenza variabile *Ra* ha il compito di regolare la resistenza totale in serie al circuito in modo da permettere il passaggio di una corrente di 1 mA esatto quando i puntali vengono cortocircuitati; ciò nel nostro caso avviene quando la resistenza totale in serie ammonta a 4.500 ohm (infatti 4.5 volt: 4.500 ohm = 1 mA). Nel circuito illustrato la resistenza interna dello strumento è, come si è detto, di 50 ohm, il valore di *Rb* è di 4.000 ohm, ed *Ra* — il cui valore massimo è di 1.000 ohm — viene regolata al valore di 450 ohm, in modo da ottenere una resistenza totale di 4.500 ohm, il che permette la completa deflessione dell'indice all'atto della chiusura del circuito.

Quando i puntali vengono messi in contatto tra loro, la corrente scorre nel circuito e l'indice dello strumento ovviamente si sposta lungo la scala. Detta corrente può essere regolata mediante una manopola posta sul pannello frontale dello strumento, agendo sulla quale si fa coincidere in maniera esatta l'indice col fondo scala; per questo motivo detta manopola è contrassegnata « regolazione zero ». Tale posizione dell'indice corrisponde al valore di resistenza « zero », dato che i due puntali di prova si trovano tra loro in corto circuito. Da ciò si può dedurre che, nel circuito dell'ohmetro in serie, i valori di resistenza piu bassi sono verso la fine della scala, mentre i più alti sono in principio.

Con l'invecchiamento della batteria, la sua tensione diminuisce; in questo caso si provvede a riportare a zero l'indice mediante la medesima *Ra*, in quanto, riducendone il valore, si riduce la resistenza totale in serie. Questa resistenza di taratura, o di regolazione, o di azzeramento, può essere collegata sia in serie che in parallelo allo strumento; in quest'ultimo caso essa è connessa in serie ad un'altra resistenza fissa, mentre entrambe a loro volta sono in parallelo allo strumento. Per ottenere la massima precisione nella misura di resistenza mediante l'ohmetro, è opportuno effettuare l'azzeramento immediatamente prima di ogni misurazione.

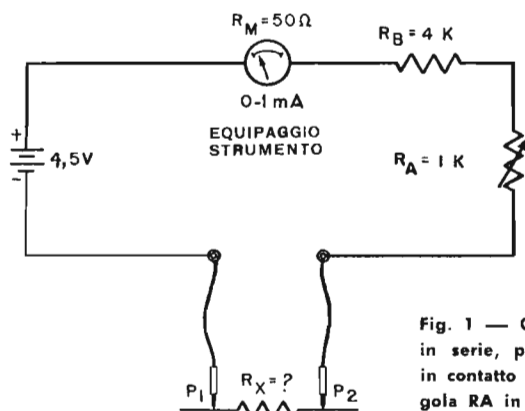



Fig. 1 — Circuito base, del tipo in serie, per ohmetro. Portando in contatto tra loro P_1 e P_2 si regola RA in modo che la corrente ad RM sia esattamente 1 mA.

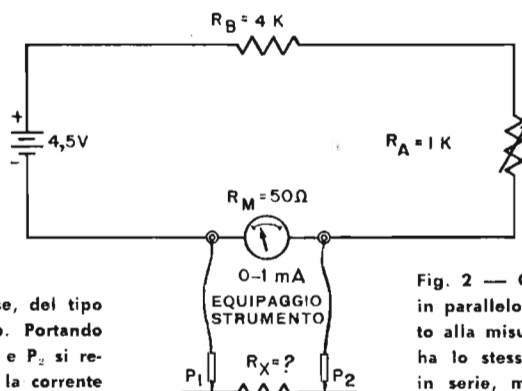



Fig. 2 — Circuito base, del tipo in parallelo, per ohmetro. È adatto alla misura di valori bassi. RA ha lo stesso scopo che nel tipo in serie, ma per la regolazione P_1 e P_2 devono essere isolati.

Dopo aver regolato l'ohmetro per una deflessione fino a fondo scala, i puntali vengono separati e l'indice ritorna così alla sua posizione di riposo a sinistra della scala. Quando i puntali vengono collegati ai capi di una resistenza di valore incognito, la stessa risulta inserita in serie al circuito: la corrente viene ulteriormente limitata, e l'indice non raggiunge più il fondo scala. Se il valore della resistenza sotto prova *Rx* è eguale a quello totale delle resistenze già presenti nel circuito, l'intera resistenza viene ad assumere il valore di 4.500+4.500, ossia 9.000 ohm. In questo caso la corrente che scorre nel circuito diventa ($I = E : R$, ossia 4,5: 9.000) pari a 0,0005 ampère vale a dire 0,5 milliampère. Questo valore è esattamente la metà di quello necessario per la completa deflessione: l'indice si porta di conseguenza al centro della scala.

Quando si esegue la taratura della scala dello strumento illustrato nella figura 1, il punto centrale della stessa viene contrassegnato col valore di 4.500 ohm. Se il valore di *Rx* è pari al doppio di quella del circuito dell'ohmetro, la resistenza totale risulta triplicata: la corrente si riduce allora ad un terzo del valore massimo. In questo caso l'indice si sposterà per un terzo della scala, e tale punto verrà contrassegnato con 9.000 ohm, pari ad *Rx*.

Tutti i punti della scala dell'ohmetro possono essere individuati comodamente mediante la formula:

$$Rx = Rc \left(\frac{I1 - I2}{I2}\right)$$

nella quale

Rx = resistenza incognita.

Rc = resistenza totale con puntali cortocircuitati.

I1 = corrente totale con puntali cortocircuitati.

I2 = corrente ottenuta quando *Rx* viene collegata in serie.

Ad esempio, troviamo il valore di *Rx* quando l'indice indica una corrente di 0,25 mA attraverso il circuito ohmetrico.

$$Rx = 4.500 \left(\frac{1 - 0{,}25}{0{,}25}\right) = 13.500 \text{ ohm}$$

Mediante l'uso di questa formula è possibile **tarare** l'intera scala per leggere il valore di una resistenza incognita connessa ai puntali, direttamente in ohm. I valori di resistenza aumentano progressivamente da destra a sinistra, ossia dalla massima alla minima deflessione.

Il circuito dell'ohmetro in serie non può essere impiegato per misurare accuratamente la bassa resistenza di bobine, di impedenze e di avvolgimenti di trasformatori, il cui valore è spesso inferiore a 5 ohm, in quanto tali valori sono talmente vicini nell'estremità destra della scala dello strumento, che sarebbe praticamente impossibile distinguerli. Vediamo di confermare con un esempio pratico quanto detto ora, facendo ricorso alla formula di taratura enunciata precedentemente.

Supponiamo infatti, che la scala dello strumento abbia 10 divisioni, con le medesime caratteristiche del circuito della figura 1: con una deviazione da parte dell'indice di 9/10 della scala — ossia con una deviazione di 1/10 rispetto al valore di zero ohm — la corrente ammonta a 0,9 milliampère. Usando la formula di taratura per determinare il valore ohmico corrispondente a tale lettura, abbiamo

$$Rx = Rc \left(\frac{I1 - I2}{I2}\right) = 4.500 \left(\frac{1 - 0{,}9}{0{,}9}\right) = 500 \text{ ohm}$$

Se una resistenza di 500 ohm provoca una deflessione dell'indice di 9/10 della intera scala, tutti i valori inferiori a 500 ohm devono essere contenuti nello spazio occupato da 1/10 della scala; risulta allora evidente che non è possibile leggere valori molto bassi col semplice circuito in serie, ed è perciò necessario ricorrere ad altri circuiti.

OHMETRO in PARALLELO

Mediante il circuito dell'ohmetro in parallelo o in derivazione (vedi **figura 2**), è possibile misurare accuratamente valori resistivi bassi. In questo caso la resistenza di valore incognito viene collegata in parallelo allo strumento; una parte della corrente che percorre il circuito passa attraverso *Rx* e viene di conseguenza ridotta contemporaneamente la deflessione dell'indice. La corrente che passa nella bobina mobile dello strumento dipende dal rapporto tra la resistenza interna dello stesso, ed il valore di *Rx*; quando il primo valore è noto, *Rx* può essere determinata dalla formula:

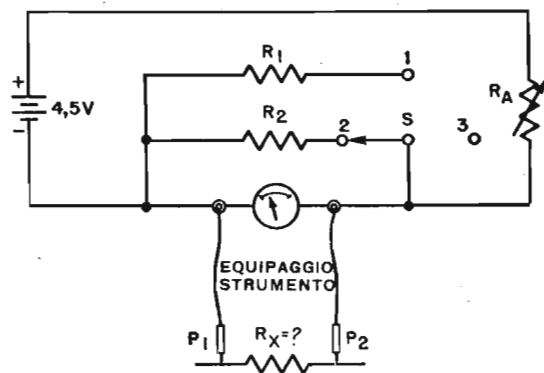



Fig. 3 — Circuito per ohmetro del tipo in parallelo, con 3 portate. A seconda della posizione del commutatore S la corrente che perviene allo strumento varia in quanto su due portate una parte viene assorbita o da R_1 o da R_2: ne consegue un minore spostamento dell'indice. Azzerando sempre con RA (puntali isolati) si ha possibilità di lettura di valori più bassi.

$$Rx = Rm \left(\frac{I1}{I1 - I2} \right)$$

nella quale

Rx = resistenza incognita.

Rm = resistenza interna dello strumento (bobina mobile).

$I1$ = corrente dell'ohmetro (con Rx esclusa).

$I2$ = corrente nell'ohmetro (con Rx in circuito).

Tenendo i puntali di prova isolati tra loro, si regola Ra fino ad avere la massima deflessione dell'indice, ossia fino ad avere nel circuito la corrente di 1 milliampère.

I puntali vengono quindi collegati ai capi di Rx (figura 2), la quale viene così a trovarsi in parallelo al milliampèrometro: in tal modo la corrente che attraversa quest'ultimo, come abbiamo accennato, si divide in due parti. La corrente presente nello strumento è direttamente proporzionale al valore di Rx, ed il risultato consiste in una riduzione della deflessione dell'indice.

Ad esempio, se il valore di Rx è eguale a quello dello strumento stesso, ossia 50 ohm, si realizza il caso di due resistenze eguali in parallelo tra loro; la corrente si divide in due parti eguali, l'indice si porta al centro della scala indicando 0,5 mA, il quale valore corrisponde perciò al valore ohmico di 50 ohm.

Tutta la scala può essere tarata o, come si suol dire anche, calibrata, con l'aiuto della formula sopra riportata. Il valore di resistenza indicato aumenta progressivamente da sinistra a destra, coincidendo il suo massimo con l'intera deflessione. Ciò è un comportamento evidentemente contrario a quello già visto, del circuito in serie, di cui alla figura 1.

Il fatto che la resistenza interna dello strumento venga « shuntata » da Rx ha un effetto trascurabile sulla resistenza totale del circuito, poichè il valore risultante ai capi dello stesso è sempre inferiore a 50 ohm — per qualsiasi valore di Rx — ed una variazione di meno 50 ohm in un circuito in serie avente una resistenza totale di 4.500 ohm costituisce una frazione ben piccola del valore totale. Pur provocando così un aumento della corrente totale, esso è talmente basso da poter essere considerato trascurabile agli effetti pratici.

La gamma utile della scala di un ohmetro analogo a quello descritto ed illustrato nella figura 2, è compresa all'incirca tra 5 e 400 ohm. I valori inferiori o superiori a tali estremi sono difficili da leggere con precisione in quanto sono troppo vicini tra loro, alle estremità della scala.

Nell'eventualità che occorra una maggior precisione per valori bassi di Rx, detta scala può essere estesa collegando in parallelo allo strumento altre resistenze di determinato valore, con le quali è possibile ottenere varie gamme di valori bassi. La gamma desiderata viene scelta collegando in circuito lo « shunt » appropriato, sia mediante boccole separate che mediante un apposito commutatore.

In tal modo è possibile ottenere letture di valori anche nella gamma delle frazioni di ohm con una certa precisione, in quanto una portata con estremi bassissimi può essere estesa sull'intera scala dello strumento.

La **figura 3** illustra un ohmetro in parallelo con tre portate ohmetriche di valori bassi. In esso, quando il commutatore si trova nella posizione neutra *3*, la resistenza incognita Rx viene collegata direttamente in parallelo allo strumento. Ciò determina una portata massima di 400 ohm, come nella figura 2. Quando invece il commutatore viene portato in posizione *1*, $R1$ viene collegata in parallelo allo strumento ed assorbe una parte della corrente; ciò causa uno spostamento inferiore da parte dell'indice, e dà luogo ad una gamma di resistenza più bassa, gamma che è in relazione al valore $R1$. $R2$ infine — avendo un valore minore di $R1$ — provoca uno spostamento ancora minore dato che assorbe una maggiore quantità di corrente.

Il risultato del collegamento di queste resistenze in parallelo allo strumento è che per riportare l'indice all'estremità sinistra della scala sono necessari valori di Rx progressivamente inferiori; è così possibile leggere con maggiore precisione valori ohmici bassi.

Ogni volta che si sceglie una portata mediante il commutatore, l'ohmetro deve essere controllato sullo zero mediante la regolazione di Ra, prima che la resistenza incognita venga inserita tra i puntali. Con questo tipo di ohmetro i terminali non vanno cortocircuitati tra loro per l'azzeramento.

Quando Rx è collegata al circuito, le letture dei valori resistivi aumentano progressivamente da sinistra a destra della scala dello strumento, ed i valori massimi si trovano in prossimità del fondo scala in quanto maggiore

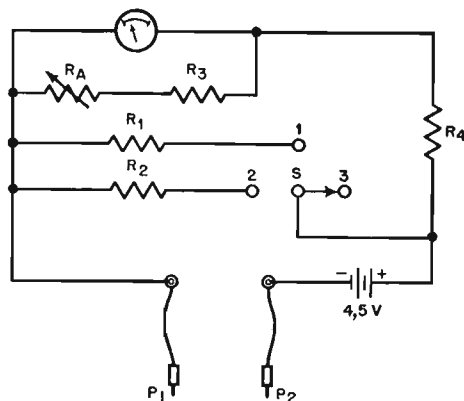



Fig. 4 — Ohmetro a tre portate: una per valori alti (commutatore S in posizione 3) e due per valori bassi (commutatore su 1 o su 2). La resistenza di azzeramento (RA) è posta, unitamente alla resistenza limitatrice R_3 ad essa in serie, in parallelo allo strumento: ciò consente una migliore regolazione e permette letture più precise della resistenza incognita.

è il valore della resistenza incognita, minore è la corrente da essa assorbita, ed è quindi maggiore lo spostamento dell'indice.

OHMETRO in SERIE realizzato con RESISTENZE in PARALLELO

La **figura 4** illustra un tipo di ohmetro avente una portata di valori alti, e due di valori bassi. Si tratta di un ohmetro in serie tipico in quanto *Rx* viene collegata in serie al circuito; ciò nonostante vi sono degli « shunt » in parallelo allo strumento, con i quali è possibile misurare valori ohmici bassi.

Viene denominato « ohmetro a diverse portate » in quanto permette di effettuare letture di valori in varie gamme.

Allo scopo di migliorare le condizioni di azzeramento, la resistenza di regolazione, *Ra*, e la resistenza limitatrice di corrente, *R3*, sono in serie tra loro ed a loro volta in parallelo allo strumento. Ciò compensa le eventuali variazioni di tensione della batteria dovute al naturale invecchiamento, e permette valutazioni più accurate di *Rx* che non quando *Ra* è in serie al milliampèrometro.

La resistenza *R4* collegata in serie alla batteria ha il compito di limitare la corrente nel circuito dell'ohmetro, al valore necessario per ottenere all'incirca l'intera deviazione dell'indice, dopo di che la regolazione definitiva viene effettuata agendo su *Ra*.

Se il commutatore di portata viene disposto in posizione *3*, l'ohmetro è adattato come circuito in serie alla portata di valori alti, ed è possibile quindi misurare alte resistenze collegandole tra i puntali *P1* e *P2*.

L'azzeramento deve essere eseguito portando detti puntali in cortocircuito tra loro.

Quando si desidera invece una portata bassa, il commutatore viene messo in posizione 1, per cui *R1* viene ad essere in parallelo allo strumento. Poichè da ciò deriva una variazione della resistenza in serie del circuito, è necessario azzerare nuovamente mediante *Ra*, come pure è necessario fare per la gamma ancora più bassa, corrispondente alla posizione 2 del commutatore.

Negli ohmetri a diverse portate è possibile disporre di scale separate per ogni portata. Tuttavia un sistema più pratico consiste nel calibrare lo strumento con i valori della sua portata più bassa, e quindi servirsi di fattori di moltiplicazione per leggere valori nelle portate maggiori.

Poichè i fattori di moltiplicazione dei circuiti voltmetrici in serie sono di solito in decadi, quelli delle portate ohmetriche possono essere di conseguenza $R \times 1$, $R \times 10$, $R \times 100$ e così via. Le resistenze componenti il circuito devono essere scelte in conformità al relativo fattore di moltiplicazione.

La lettura effettiva in questo caso corrisponde a quella indicata dallo strumento, moltiplicata per il fattore indicato dal commutatore. Ad esempio, se la lettura dello strumento è 30, ed il fattore di moltiplicazione è 100, si avrà un valore ohmico di 30×100, ossia di 3.000 ohm.

Per misurare i valori resistivi più alti di quelli ottenibili nella gamma maggiore dell'ohmetro illustrato nella figura 4, è necessario usare una tensione maggiore. Poichè la corrente che scorre in detto circuito equivale al rapporto tra la resistenza e la tensione ($I = E : R$), è evidente che, aumentando la resistenza nel circuito si giunge ad un punto in cui la corrente non è più sufficiente a spostare l'indice.

Deve essere adottata perciò una tensione più alta per dar luogo ad una corrente sufficiente nonostante l'alta resistenza.

L'aumento della portata di lettura è proporzionale all'aumento di tensione.

Per fare un esempio, se detta tensione viene aumentata di cinque volte, fino cioè al valore di 22,5 volt, l'aumento della resistenza deve essere eguale; in tal modo si ottiene un fattore di moltiplicazione di 5 agli effetti dei valori indicati sulla scala, per ottenere il valore effettivo di *Rx*. Se invece la batteria usata avesse una tensione di 45 volt, il fattore di moltiplicazione sarebbe 10, e così via.

Naturalmente, anche la resistenza limitatrice *R4* deve essere aumentata di 5 volte per una tensione di 22,5 volt, e di 10 volte per una tensione di 45 volt, il suo compito essendo sempre quello di limitare la corrente al valore massimo di 1 milliampère.

Il circuito ohmetrico della **figura 5** impiega due batterie separate, una da 4,5 volt, ed una da 45 volt. Con questo schema sono disponibili una portata bassa, due medie, ed una alta, che possono essere commutate mediante il commutatore a due sezioni, *S1* ed *S2*. Le due gamme più basse e la media più alta delle due, vengono alimentate dalla batteria da 4,5 volt, mentre nella gamma più alta viene inserita automaticamente la batteria

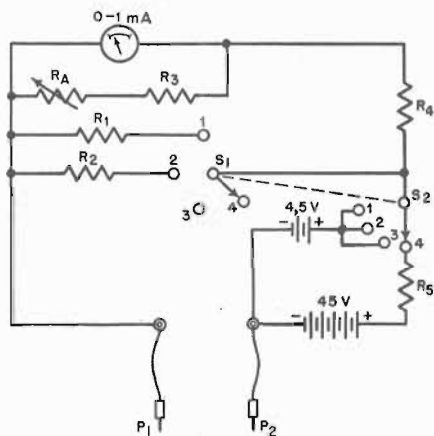



Fig. 5 — Ohmetro a 4 portate. Si noti la presenza di 2 batterie (4,5 e 45 volt) che alimentano rispettivamente 2 portate basse e 2 alte.

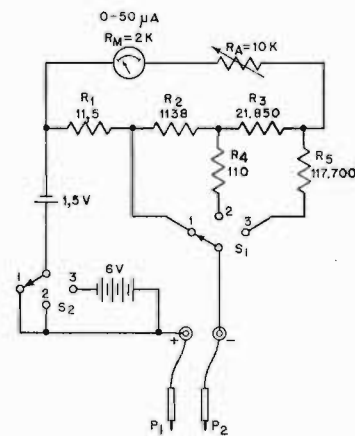



Fig. 6 — Schema di un ohmetro di realizzazione commerciale. Presenta 3 portate: 0-2.000 ohm, 0-200.000 ohm, 0-2 Megaohm. Occorrono 2 batterie (6 volt e 1,5 volt), un commutatore doppio ed uno strumento da 50 microampère.

da 45 volt, quando il commutatore viene portato in posizione 4.

Il commutatore consta di due sezioni, *S1* ed *S2* montate con un unico perno e quindi azionate contemporaneamente; le resistenza *R4* ed *R5* sono le limitatrici di corrente.

Quando la batteria da 4,5 volt è in circuito, *R4* si trova tra detta batteria e lo strumento, mentre *R5* è esclusa; quando invece la batteria in circuito è quella da 45 volt, *R5* è in serie ad *R4* allo scopo di limitare la corrente al valore necessario per ottenere la giusta deflessione dell'indice dello strumento.

La tensione più alta può anche essere ottenuta mediante un circuito di alimentazione (alimentatore) incorporato, ma la cosa presenta qualche difficoltà per cui non è molto pratica.

I puntali devono essere cortocircuitati ad ogni portata per l'azzeramento. Le resistenze in parallelo delle portate basse sono scelte in modo tale che il fattore di moltiplicazione sia a decadi: in tal modo è possibile tarare la scala sulla sola portata inferiore, i cui valori vanno poi moltiplicati per detto fattore corrispondente alle varie portate più alte.

Tutti gli strumenti usati nei circuiti descritti fino ad ora impiegano strumenti da 1 mA f.s., vale a dire, da 1.000 ohm/volt. Se si usa uno strumento di maggiore sensibilità (ossia che richiede una corrente minore di 1 mA per la completa deflessione dell'indice), i valori di *Rx* possono essere misurati, in ogni portata, con una tensione di alimentazione molto inferiore. Infatti, uno strumento da 20.000 ohm/volt richiede una corrente di 50 μA (microampère) per raggiungere il fondo scala, ed è 20 volte più sensibile di quelli citati più sopra; ne consegue che è sufficiente usare batterie di tensione molto inferiore. La **figura 6** illustra il circuito di un ohmetro commerciale che permette letture da 0,2 ohm a 20 Mohm. Tale ampia gamma è divisa in tre portate, e precisamente da 0 a 2.000 ohm, da 0 a 200.000 e da 0 a 20 Megaohm. Le prime due gamme sono alimentate da una batteria da 1,5 volt, mentre una seconda batteria da 7,5 volt (1,5+6) estende la sensibilità a 20 Mohm nella portata alta.

Le sezioni *S1* ed *S2* del commutatore sono in tandem, e disposte in modo da inserire nel circuito gli « shunt » e le resistenze in serie appropriate contemporaneamente, scegliendo la tensione esatta di alimentazione.

I puntali *P1* e *P2* devono essere cortocircuitati, ed è necessario correggere la posizione della resistenza di regolazione dello « zero », *Ra*, per ogni portata.

La scala è tarata in base alla portata più bassa, ed il fattore di moltiplicazione che corrisponde alle varie portate sulla manopola del commutatore, dà il valore effettivo della lettura indicata dallo strumento nelle due portate maggiori.

La scala si estende da destra a sinistra; i valori più alti si trovano alla estremità sinistra.

L'alimentazione è ottenuta mediante 5 pile da 1,5 volt. In parallelo allo strumento si trovano gli « shunt » il cui compito — sappiamo — è di ridurre l'ammontare della corrente che scorre nello strumento al solo valore necessario per raggiungere il fondo scala.

IL « MEGGER »

Sebbene non si tratti di uno strumento il cui impiego è attinente alla radiotecnica, riteniamo opportuno descrivere sommariamente il « Megger » che, a rigore, è uno speciale tipo di ohmetro. Esso consiste infatti in uno strumento particolarmente adatto alla misura di valori resistivi elevati, dell'ordine delle diecine ed anche delle centinaia di Megaohm.

La caratteristica essenziale risiede nel fatto che l'alimentazione avviene ad opera di un generatore di corrente continua azionato a mano mediante una manovella, e che la tensione da esso erogata non ha alcuna influenza sulla precisione della misura effettuata.

Il generatore può fornire tensioni continue dell'ordine di 500, 1.000 o 2.000 volt ai terminali di prova. La corrente prodotta scorre dal terminale negativo del generatore stesso attraverso la bobina voltmetrica (**figura 7**), indi attraverso *R2* (di valore elevato), per tornare quindi al terminale positivo. Il campo magnetico creato dalla bobina voltmetrica, reagisce con quello del magnete permanente, determinando una deviazione dell'indice in senso antiorario. Se nulla viene collegato tra i terminali di prova (resistenza infinita), l'unica corrente circolante determina l'indicazione appunto di resistenza infinita. Collegando invece tra « linea » e « massa » una resistenza di valore incognito, si manifesta un'altra corrente che parte dal terminale negativo del generatore, passa attraverso la bobina amperometrica, attraverso R1, indi attraverso

Fig. 7 — Costruzione di un particolare tipo di ohmetro detto Megger. L'indice si arresta in seguito al bilanciamento di due campi magnetici opposti, creati dalla bobina voltmetrica e da quella amperometrica, dipendenti dalla corrente circolante nella resistenza incognita. L'apparecchio genera esso stesso la tensione di funzionamento.

la resistenza incognita, e torna al polo positivo del generatore. Il campo magnetico creato dalla bobina amperometrica reagisce a sua volta determinando una deviazione in senso orario. Minore è il valore della resistenza incognita, maggiore è la corrente che essa determina, per cui l'indicazione da parte dell'indice sarà più lontana da quella corrispondente a resistenza infinita.

Questo strumento, detto anche ohmetro differenziale, è utile anche per le prove di isolamento, grazie alla forte tensione disponibile ai terminali. L'indice si ferma in un punto determinato dal bilanciamento dei campi magnetici opposti. Nelle misure di valori superiori a 100 Mohm, si usa il circuito di sicurezza (in tratto sottile), nel quale vengono sfruttate le correnti di dispersione prelevate per via elettrostatica da elettrodi posti in prossimità delle resistenze *R1* ed *R2* e del conduttore di linea.

USO dell'OHMETRO

Dopo aver esaminato in dettaglio e seguìto l'evoluzione dello schema di un ohmetro completo, capace cioè di molteplici letture, riteniamo utile chiudere l'argomento con un elenco di norme atte, oltre che a far ben comprendere l'uso, a ribadire i principi stessi di funzionamento già esaminati. In tal modo, la conoscenza che si acquista in materia sarà molto utile nella lettura delle lezioni prossime ove l'ohmetro verrà riguardato nella più comune versione, quella cioè in cui entra a far parte integrante di un misuratore multiplo detto analizzatore o « tester » (**figura 8**), Ed ecco le norme per un buon impiego dell'ohmetro.

a) Ad evitare di collegare l'ohmetro ai capi di una resistenza tra i quali esiste una d.d.p. (resistenza « sotto tensione ») è necessario osservare alcune precauzioni; diversamente, si può danneggiare lo strumento o avere letture errate.

Sebbene l'interruttore generale abbia il compito specifico di eliminare la tensione di alimentazione di una apparecchiatura (ad esempio, radioricevitore) può accadere che esso risulti difettoso; è buona norma perciò, in ogni caso, staccare la spina del cordone di alimentazione dell'apparecchio sul quale si devono effettuare le misure di resistenza.

Tutti i condensatori devono essere scaricati perchè la tensione eventualmente presente ai loro capi può provocare gravi danni. Dato poi che le condizioni a « caldo » di un apparecchio possono essere alquanto differenti da quelle « a freddo », è opportuno attendere qualche minuto dopo aver spento l'apparecchio in questione prima di sottoporlo a verifiche ohmetriche.

b) Quando in un circuito si effettuano verifiche di resistenza, ogni elemento può essere misurato individualmente staccandolo dal circuito stesso e collegando l'ohmetro ai suoi capi. Tale metodo comporta tuttavia una notevole perdita di tempo; si preferisce allora riferire i valori ad un punto comune, che solitamente è la *massa*, ossia il punto negativo dell'alimentazione. In tal modo, è possibile misurare e verificare rapidamente intere sezioni di un apparecchio elettronico onde determinare la presenza di condizioni anormali. A volte, certi apparecchi sono corredati da tabelle che indicano i valori resistivi da « punto a punto »; l'ohmetro può essere inserito tra detti punti, dopo di che è possibile confrontare le letture ottenute con quelle della tabella. Allorchè si rileva una lettura diversa, si può staccare ogni singolo elemento dalla sezione e controllarlo separatamente. È sufficiente staccare un capo solo; questo accorgimento è già sufficiente ad evitare che vi siano perdite dovute alla chiusura del circuito attraverso un percorso diverso da quello dell'ohmetro stesso. In altre parole, per far sì che le letture non risultino falsate dalla presenza di un circuito in parallelo alla resistenza da misurare, basta interrompere detto circuito e verificare la resistenza o qualsiasi componente tra un capo in comune con altri circuiti, ed il secondo capo che è stato invece precedentemente isolato.

c) Un condensatore che abbia perdite, collegato in parallelo ad una resistenza, può causare una lettura ohmetrica errata a seconda della perdita stessa; il valore letto è dato in tal caso dalla risultante tra la resistenza effettiva del componente e quella in parallelo costituita dalla perdita di isolamento citata.

In tali condizioni l'indice dello strumento dà una lettura anche se la resistenza in parallelo è completamente interrotta, per cui, allo scopo di avere delle letture esatte, è sempre opportuno staccare almeno un capo del componente prima di collegare l'ohmetro.

d) Le mani del tecnico operatore non devono mai essere a contatto dei puntali. Essendo la resistenza del corpo umano inferiore generalmente a 50.000 ohm, essa può dare adito ad errori, specialmente nei casi in cui si misurano resistenze di valore elevato, in quanto viene a

Fig. 8 — In questa realizzazione — della quale è presentata un'ampia descrizione ai fini costruttivi alla lezione 27ª, e cioè su questo stesso fascicolo — l'ohmetro fa parte di un assieme capace di letture voltmetriche ed amperometriche, detto « tester » o analizzatore. Le possibilità di lettura ohmetrica sono: 0-20.000 ohm, 0-200.000 ohm, 0-2 Megaohm.

trovarsi in parallelo al circuito da misurare.

Per questo motivo, è sempre opportuno effettuare le misure tenendo tra le mani la parte isolata dei puntali.

e) L'ohmetro può essere utilizzato per effettuare controlli sommari dei condensatori onde determinare la presenza di perdite o di cortocircuiti: in questo caso — purchè non si tratti di condensatori elettrolitici — si usa la portata più elevata, dato che in tal modo si dispone della tensione maggiore. Si osserva lo strumento e si collegano i puntali ai capi del condensatore: se quest'ultimo è efficiente, l'indice ha uno scatto e ritorna immediatamente alla posizione che indica resistenza infinita. Lo scatto è dovuto al passaggio di corrente causato dalla carica che assume il condensatore stesso in conseguenza della tensione della batteria. Lo scatto è tanto maggiore quanto maggiore è la capacità; il tempo impiegato per il ritorno dell'indice aumenta in proporzione. Se il condensatore non ha perdite, l'indice ritorna all'inizio della scala in un tempo relativamente breve. Se l'indice non subisce alcuno spostamento, ciò indica che i terminali della capacità sono interrotti in un punto, oppure che essa è troppo bassa per avere una deflessione apprezzabile, mentre, per contro, una deflessione completa indica il cortocircuito tra le armature, ed una deflessione parziale e stabile indica una perdita di isolamento.

La resistenza di un condensatore a carta deve essere superiore a 50 Mohm per microfarad, e quella di un condensatore a mica deve essere superiore a 100 Mohm.

f) Anche per la prova di condensatori elettrolitici si usa la portata maggiore, ma, dal momento che la corrente passa più facilmente in una direzione che nell'altra, per non avere indicazioni errate è necessario osservare la polarità.

Non appena si collegano i puntali ai terminali del condensatore elettrolitico, l'indice subisce una notevole deviazione a causa della capacità generalmente elevata, dopo di che torna lentamente alla posizione di riposo, man mano che il condensatore si carica con la tensione della batteria. Di solito si ha uno spostamento anche se il condensatore è completamente carico. Se esso è in condizioni normali, per una tensione di lavoro di 450 volt, la resistenza deve essere superiore a 500.000 ohm, mentre per tensioni di lavoro inferiori, si hanno letture proporzionalmente più basse.

In linea di massima, si può aggiungere che, per assicurarsi delle buone condizioni di un condensatore, è sempre opportuno effettuare la prova invertendo successivamente i puntali: in questo caso, se la capacità è abbastanza elevata (da 50.000 pF in su), si avrà in un primo tempo un spostamento minore, e, successivamente (ossia invertendo i puntali), uno spostamento molto maggiore: infatti, la tensione della batteria viene a sommarsi a quella presente ai capi del condensatore in esame dovuta alla carica datagli dalla lettura precedente. Ciò avviene perchè la prima carica determina una polarizzazione del condensatore, e, durante la seconda verifica con puntali invertiti, il terminale positivo della batteria viene collegato a quello dell'elettrodo con tensione negativa, ciò che, ponendo le tensioni in serie tra loro, le somma. Nel caso invece del condensatore elettrolitico, si avrà in un senso una certa deviazione, e nell'altro una deviazione maggiore per il medesimo motivo, con la differenza che, con una data polarità, l'indice tornerà rapidamente alla posizione di riposo, e con l'altra tornerà lentamente verso tale posizione, arrestandosi in un punto corrispondente alla quantità di corrente che riesce a passare.

In tal modo, qualora la polarità del condensatore elettrolitico non fosse più decifrabile dalle sue indicazioni, è possibile determinarla per confronto con un altro condensatore di polarità nota. Basterà infatti individuare le posizioni di ritorno a zero in entrambi, e contrassegnare la polarità conformemente.

A conclusione di quanto abbiamo esposto sin qui in merito agli strumenti, ai circuiti voltmetrici, a quelli amperometrici ed in ultimo a quelli ohmetrici, si può asserire che tutti i calcoli necessari alla risoluzione dei diversi problemi fanno perno sulle caratteristiche dello strumento vero e proprio. Tra queste si distingue per importanza la « resistenza interna » ossia la resistenza propria del misuratore. È ovvio che se questo valore è incognito l'adattamento e l'uso dello strumento in un circuito — specialmente se circuito di misura multipla — rimane oltremodo difficile.

MISURA della RESISTENZA INTERNA di uno STRUMENTO

Vogliamo ora mettere in grado il lettore — prima di illustrare quei preziosi complessi che sono i multimetri o « tester » — di ricavare da sè il valore di resistenza di uno strumento. Ben inteso, è necessario disporre momen-

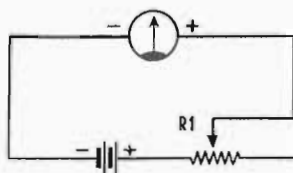



Fig. 9A — Per individuare il valore di resistenza della bobina mobile di uno strumento si attui il circuito qui illustrato. Il valore di R_1 deve essere in rapporto alla tensione della batteria, come è detto nel testo, nonchè alla sensibilità dello strumento.

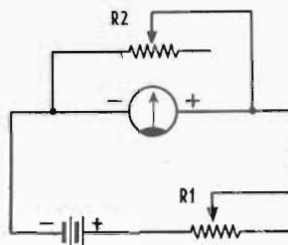



Fig. 9B — Regolata R_1 per la lettura a fondo scala secondo lo schema della figura precedente, si inserisce R_2: il suo valore massimo è in relazione al tipo di strumento e va da 100 a 5.000 ohm. Si regola R_2 sino a portare in centro l'indice dello strumento, indi la si disinserisce e si misura il suo valore: tale valore corrisponde a quello della bobina mobile.

taneamente di un altro strumento di lettura opportunamente tarato e pronto alla lettura di valori resistivi.

Però è opportuno qui fare subito presente che, nel tentativo di misurare la resistenza interna di uno strumento con l'aiuto di un « tester » sussidiario, può anche accadere di bruciare la bobina mobile che si vuol misurare. Riteniamo quindi utile illustrare — per tale operazione — il sistema denominato « centro scala » che consente la determinazione del valore ovviando al citato, gravissimo inconveniente.

Il sistema fondamentale è assai semplice e la precisione è notevole, specialmente nei casi in cui la resistenza dello strumento è bassa e la sensibilità è alta.

Per determinare la resistenza dell'equipaggio mobile di uno strumento, è sufficiente collegare in serie tra loro, lo strumento stesso, una resistenza variabile di valore alto (*R1*) ed una batteria, nel mondo indicato dalla **figura 9 A**. Si regola quindi la resistenza variabile fino ad ottenere l'intera deviazione dell'indice, ossia finchè quest'ultimo si porta all'estremità destra della scala.

A questo punto si collega in parallelo allo strumento una resistenza variabile (*R2*) (figura 9 **B**), la quale viene regolata fino ad avere un'indicazione da parte dell'indice, pari alla metà della scala stessa, ossia finchè detto indice si porta al centro. Ciò fatto si disinserisce *R2* e se ne misura il valore; tale valore corrisponde a quello della resistenza della bobina mobile, con un errore che può aggirarsi intorno all'1%, e che può perciò, nella maggior parte dei casi, essere considerato trascurabile.

La resistenza in serie *R1* deve essere abbastanza elevata onde evitare che lo strumento venga sovraccaricato con conseguente danno alla bobina ed all'indice. Nel caso di uno strumento con sensibilità di 1 mA fondo scala, la resistenza in serie deve avere un valore superiore a 1.000 ohm per ogni volt della batteria: se lo strumento ha invece una sensibilità di 50 μA, si richiede una resistenza maggiore di 20.000 ohm per volt. Se infine l'equipaggio mobile ha una sensibilità di 20 microampère fondo scala, la resistenza per limitare la corrente deve essere superiore a 50.000 ohm per ogni volt della batteria.

La resistenza interna degli strumenti varia notevolmente col variare della Marca: esistono anche leggere differenze da strumento a strumento. Per i tipi più comuni di strumenti da pannello, la resistenza variabile in parallelo *R2* deve essere dell'ordine di 100 ohm, per strumenti di 1 milliampère fondo scala. Per uno strumento da 50 microampère detta resistenza deve essere dell'ordine di 2.000 ohm, mentre per uno strumento da 20 microampère essa deve avere un valore di almeno 5.000 ohm.

È importante ricordare che se *R1* è di valore troppo basso, lo strumento può subire dei danni, mentre nessun valore inadatto di *R2* potrà avere delle conseguenze di tal genere.

Nel calcolo della resistenza interna è inevitabile un certo errore: ad esempio, se si impiega una batteria da 3 volt per controllare uno strumento da 1 mA fondo scala avente una resistenza interna di 52 ohm, il valore di *R1* necessario per determinare la completa deviazione dell'indice dovrebbe essere di 2.948 ohm (supponendo che la resistenza interna della batteria sia zero). Allorchè *R2* viene collegata in parallelo allo strumento, la resistenza interna totale del circuito viene ad essere leggermente inferiore a 3.000 ohm, e la corrente totale erogata dalla batteria è leggermente superiore ad 1 milliampère.

Se si regola *R2* in modo che l'indice si porti al centro della scala, lo strumento permetterà il passaggio di 0,5 mA, ma *R2* lascerà passare una corrente leggermente maggiore.

Dal momento che la resistenza interna dello strumento ed *R2* sono in parallelo, le cadute di tensioni presenti ai capi di entrambe sono eguali, per cui è logico dedurre che il valore ohmico di *R2* è leggermente inferiore a quello della bobina mobile dello strumento.

L'ammontare dell'errore dipende dal rapporto tra il valore di *R1* e quello della resistenza dello strumento; in questo caso esso ammonta a meno dello 0,9%. Se si aumenta la tensione della batteria, è necessario aumentare proporzionalmente il valore di *R1*, il che riduce la possibilità di errore.

Nell'esempio del quale ci siamo serviti, se si usasse una batteria da 90 volt, l'errore risultante sarebbe leggermente inferiore allo 0,3%, errore che può essere considerato trascurabile agli effetti pratici nella maggior parte dei casi.

Il lettore che, seguendo questo corso, ha costruito il ponte di Wheatstone e la relativa cassetta di decadi, potrà effettuare in tal caso un primo efficace impiego di quest'ultima. Essa infatti, collegata in parallelo allo strumento al posto di *R2*, permetterà di valutare la resistenza della bobina mobile con l'approssimazione di ±1 ohm.

GLI ANALIZZATORI O " TESTER "

Per analizzatore, o multimetro, o più correntemente, « tester » si intende uno strumento che per comodità di impiego incorpora due o più circuiti di misura ed un milliampèrometro o microampèrometro, in un unico apparecchio. Un esempio tra i più tipici è quello illustrato alla **figura 1**: comprende un voltmetro, un amperometro ed un ohmetro, usando per i tre circuiti un unico strumento.

L'analizzatore può essere realizzato per diversi scopi, ad esempio per la misura di resistenze e di capacità, di tensioni e correnti in c.a., di tensioni e correnti in c.c. I tipi di cui ci occuperemo in questa lezione sono adatti alla misura di correnti, tensioni e resistenze.

Per selezionare tra i diversi circuiti predisposti quello necessario alla misura di una delle dette quantità, o si monta sul pannello un commutatore azionato da una manopola ad indice, oppure si prevede una serie di boccole per il diverso collegamento dei puntali di misura.

Il commutatore consta di diverse sezioni di materiale isolante sovrapposte; le sezioni fanno da supporto ai vari contatti, ed ogni posizione del rotore corrisponde alla predisposizione dello strumento per un dato tipo di misura. Quando, ad esempio, il commutatore si trova nella posizione « c.c. » una parte dei suoi contatti inserisce nel circuito particolari elementi (bobina mobile, resistenze addizionali, « shunt » ecc.). In alcuni tipi di « tester » si trovano due commutatori; uno adatta lo strumento al tipo di misura voluto, l'altro determina la portata della misura da effettuare. Il numero delle portate disponibili per la misura di tensioni, correnti e resistenze, varia logicamente da strumento a strumento: si hanno tipi portatili con gamme limitate e tipi da laboratorio dotati di maggiori prerogative.

Nel caso in cui si usano dei commutatori per la selezione della funzione e della portata, sono necessarie due sole boccole per i puntali, ad eccezione di quando si prevedono anche altri attacchi particolari, ad esempio per portate molto elevate di corrente e di tensione.

Vi sono infine casi misti e cioè quelli in cui, essendovi un solo commutatore — che predispone il circuito sul tipo di misura che si desidera effettuare — le portate vengono scelte spostando uno dei puntali, o anche entrambi, nelle boccole corrispondenti.

Per semplicità di lettura, molti analizzatori sono provvisti di tre scale: una per i valori di resistenza, una per le tensioni e le correnti continue, ed un'altra per le tensioni alternate. Normalmente dette scale hanno ciascuna una serie di divisioni e più di una serie di valori numerici a intervalli regolari secondo vari fattori, esattamente come avviene sulle righe centimetrate o sui regoli calcolatori. Il valore effettivo risulta dal prodotto tra il valore letto ed il fattore di moltiplicazione determinato dalla portata scelta.

Ad esempio, se le portate voltmetriche in c.c. dello strumento sono 10, 50, 250, 500, e 1.000 volt, sulla scala sono necessarie solo tre serie di numeri (vedi **figura 2**), ossia 10, 50 e 250, con le quali è possibile effettuare le letture direttamente sulla scala; nella portata 500 volt f.s. si utilizza l'indicazione della scala 50 volt, e si moltiplica la lettura per 10, nella portata 1.000 volt si usa la scala 10 e si moltiplica per 100.

Se si misura una tensione di 350 volt, poichè detta tensione è superiore a 250 ed inferiore a 500, è ovvio che si userà quest'ultima portata: in questo caso, la scala da leggere sarà quella col valore massimo indicativo di 50, ma la posizione del commutatore ci dirà che il valore 35 segnato dall'indice dovrà essere moltiplicato per 10. Analogamente, nella misura di resistenze col commutatore in posizione R×100, ogni lettura dovrà essere moltiplicata per 100 per avere il valore di resistenza misurato.

Generalmente esistono due tipi di analizzatori: i volt-ohm-milliamperometri, e gli analizzatori elettronici. I primi si basano sui circuiti voltmetrici, ohmetrici ed amperometrici convenzionali da noi già esaminati in dettaglio e che per la misura della c.a. adottano un rettificatore a ossido.

Gli analizzatori elettronici implicano invece l'uso di valvole termoioniche, e di loro ci occuperemo in seguito dopo lo studio delle valvole stesse.

VOLT-OHM-MILLIAMPEROMETRO

Nonostante i recenti progressi conseguiti nel campo degli strumenti di misura, il « tester » convenzionale è rimasto lo strumento basilare per le misure elettriche generali. La maggior parte di tali strumenti impiega equipaggi mobili da un minimo di 50 μA ad un massimo di 1 mA f.s. Nel primo caso si ha una sensibilità di 20.000 ohm/volt, e per questo fatto la resistenza interna è tale da non alterare quasi mai in maniera apprezzabile le condizioni del circuito sotto prova.

Molto spesso, per l'uso più frequente il valore di 5.000 ohm per volt è quello preferito perchè concilia un consumo già discretamente basso con una più pronunciata robustezza dell'equipaggio mobile. Diremo anzi, che la

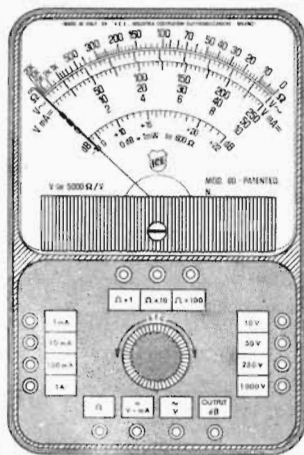



Fig. 1 — Realizzazione tipica di un « tester » in modello tascabile. La costruzione del tipo qui illustrato costituisce argomento della lezione 27ª.

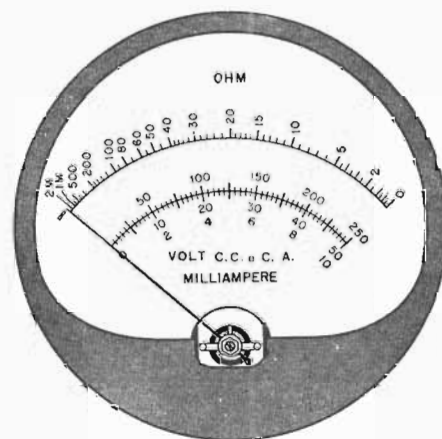



Fig. 2 — Gli strumenti impiegati nei « tester » presentano scale multiple. Le indicazioni numeriche devono spesso essere moltiplicate per dati fattori.

tendenza generale dei tecnici è quella di adottare un « tester » da 5.000 ohm/volt per il servizio fuori sede (strumento portatile) ed un tipo da 20.000 ohm/volt per l'impiego fisso in laboratorio.

I commutatori e le prese disposte sul pannello frontale si presentano di solito secondo una sistemazione standard. Un commutatore contrassegnato OHM-CA-CC ha il compito di predisporre lo strumento per il tipo di misura che si desidera effettuare, ed una manopola contrassegnata REGOLAZIONE ZERO serve per l'azzeramento nelle portate ohmetriche: varie prese poste lungo i bordi esterni servono per scegliere le diverse portate di corrente, tensione e resistenza.

Quando il commutatore si trova in posizione OHM, uno dei puntali viene inserito nella boccola comune, e l'altro nella boccola corrispondente alla portata ohmetrica desiderata (R×1, R×10, R×100), dopo di che detti puntali vengono cortocircuitati per poi ruotare la manopola dell'azzeramento fino ad ottenere che la posizione dell'indice coincida esattamente col fondo scala. Fatto ciò, i puntali vengono messi in contatto con i terminali della resistenza da misurare il cui valore viene letto direttamente sulla scala moltiplicando il valore indicato per il fattore di moltiplicazione della portata prescelta.

Per effettuare misure di tensioni o di correnti, in continua o in alternata, si pone il commutatore sul tipo di misura che si desidera effettuare: uno dei puntali viene inserito nella boccola comune a tutte le portate, e l'altro nella boccola corrispondente alla portata desiderata, dopo di che l'altra estremità dei puntali può essere applicata ai punti dove si deve effettuare la misura, oppure, se si tratta di una corrente, in serie al circuito in esame.

I « tester » più semplici sono quelli che possono misurare soltanto tensioni e correnti continue nonchè resistenze, oppure tensioni continue ed alternate, correnti solo continue e resistenze.

Misuratori di tensioni in c.c. correnti e resistenze

La **figura 3** illustra il circuito di un semplice volt-ohm-milliamperometro adatto a misurare tensioni e correnti continue e resistenze. I vari circuiti, nonchè le portate, vengono scelte mediante il collegamento dei puntali in varie prese o boccole. Per misure di correnti inferiori ad 1 mA, uno dei puntali rimane inserito nella boccola « comune » e l'altro va posto in quella contrassegnata 1 milliampère.

La corrente si divide tra lo strumento e lo « shunt », e l'indicazione dello strumento è proporzionale alla quantità di corrente che lo percorre. Se si devono misurare correnti comprese tra 10 e 100 mA i puntali vengono inseriti tra il « comune » e la boccola contrassegnata 100 mA: in questo caso la corrente si divide tra *R3* ed *R4* in parallelo allo strumento ed il circuito in serie costituito da *R1* ed *R2*.

Quando l'indice si trova a fondo scala, la corrente che percorre lo strumento è la stessa che lo percorreva nel primo caso, in quanto la diminuzione della resistenza dello « shunt », e l'aumento di quella in serie allo strumento stesso fa in modo che la quantità di corrente che passa attraverso lo « shunt » aumenti, mentre diminuisce quella che passa attraverso il milliamperometro.

Nella misura di tensioni con questo strumento, la scelta della resistenza di moltiplicazione dipende dal valore richiesto all'estremità destra della scala: ad esempio, se la tensione da misurare è compresa tra 10 e 100 volt, i puntali vanno inseriti tra il « comune » e la boccola contrassegnata 100 volt. La corrente proveniente dal circuito in esame si divide allora tra lo strumento e lo « shunt », attraversa la resistenza di moltiplicazione da 100 kohm, e ritorna quindi al circuito in esame.

Il circuito funziona allo stesso modo per le altre due portate di tensione; cambia soltanto il valore della resistenza addizionale. Poichè tutte le resistenze sono fisse, la corrente che passa attraverso la bobina mobile è direttamente proporzionale alla tensione applicata ai terminali e può essere letta direttamente sullo strumento.

Nella misura di resistenze, oltre alla boccola « comune » si usa o quella contrassegnata 1 Mohm, o quella contrassegnata 100 kohm. La corrente che scorre viene prelevata o dalla batteria da 1,5 volt, o da quella da 15 volt, a seconda della portata prescelta, passa attraverso la resistenza variabile di azzeramento (*R10* o *R8*), attraversa la resistenza da misurare, lo strumento e gli « shunt », la resistenza di moltiplicazione, e torna quindi alla batteria.

Maggiore è Rx, minore è la corrente e quindi lo spostamento dell'indice. La scala ohmetrica è tarata da destra a sinistra, e minore è la deviazione dell'ago, maggiore è la resistenza esterna.

Il circuito illustrato nella figura 3 e di cui abbiamo sinora discusso, ha quattro portate in corrente continua,

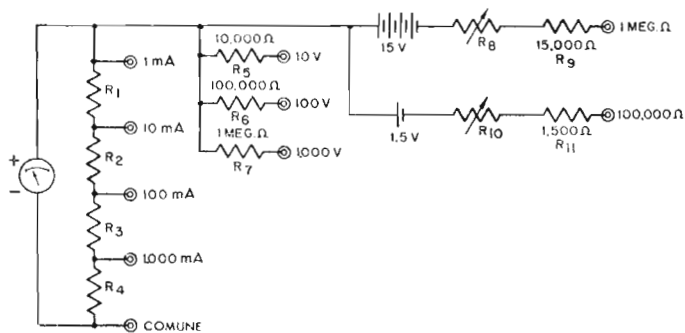



Fig. 3 — Schema di analizzatore semplice per misure di diverse portate a fondo scala, voltmetriche, amperometriche e di resistenza.

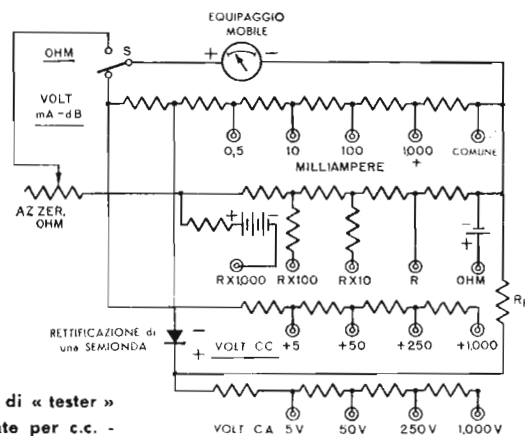



Fig. 4 — Schema di « tester » a molteplici portate per c.c. - ohm e c. alternata.

tre di tensione continua e due di resistenza. Vi sono altri strumenti del medesimo tipo che possono comprendere un numero maggiore di portate ohmetriche o di portate voltmetriche o amperometriche. Detto circuito è inoltre limitato alle sole misure in c.c., per cui, allo scopo di estendere la possibilità di misura alla c.a. è necessario aggiungere un raddrizzatore ad ossido con i relativi circuiti.

Misuratore di tensioni c.c. e c.a., correnti continue e resistenze

La **figura 4** illustra uno strumento di tale tipo. Il circuito per la misura delle tensioni consiste di due serie di resistenze addizionali, una per la c.c. ed una per c.a.; nel primo caso il **commutatore « S »** viene posto in posizione VOLT, ed i puntali vanno inseriti uno nella boccola « comune », e l'altro in quella corrispondente alla portata desiderata.

La bobina mobile è shuntata dalla serie di resistenze che si trovano immediatamente sotto allo strumento nello schema, ed è in serie alla resistenza addizionale che fa capo alle boccole contrassegnate « volt c. continua ».

Per le misure in c.a. si usano le resistenze addizionali corrispondenti alle boccole « volt corrente alternata ». Il cristallo di germanio costituisce un rettificatore ad una sola semionda, che fornisce allo strumento ed agli « shunt » una corrente pulsante. Uno dei puntali viene inserito nella boccola della portata desiderata, e l'altro come al solito, nella boccola « comune ».

Quando la polarità della tensione è positiva dal lato della boccola della portata, la corrente scorre nel circuito. Quando essa si inverte e la polarità positiva è dalla parte della boccola « comune » la corrente scorre nella resistenza di valore alto R_R, ed attraverso la resistenza addizionale. Questo circuito di ritorno nel semiperiodo negativo è necessario allo scopo di allontanare dal cristallo le tensioni fortemente negative. Sebbene la resistenza di quest'ultimo nell'alternanza negativa sia molto alta (circa 60.000 ohm), esso permette tuttavia il passaggio di deboli correnti con polarità invertita, per cui, se R_R non fosse inserita nel circuito, le tensioni eccessive che si possono produrre deteriorerebbero il cristallo stesso.

Le misure di corrente e di resistenza vengono effettuate col medesimo procedimento descritto per la figura 3. Quando si usa la boccola $R \times 100$, la corrente necessaria per una lettura sufficiente viene fornita da una batteria supplementare avente generalmente una tensione di 4,5 volt. Per tutte le portate ohmetriche, i puntali vanno inseriti uno nella boccola OHM, e l'altro in quella della portata desiderata (R, $R \times 10$, $R \times 100$, $R \times 1000$).

COSTRUZIONE di un « TESTER »

Per offrire al lettore sia la più ampia possibilità di scelta, sia la più completa possibilità di attrezzatura, in merito a questo basilare ed assolutamente indispensabile strumento, abbiamo pensato di presentare tre versioni.

Un primo tipo di esecuzione — quello di cui segue qui la descrizione — ha pretese molto modeste; esso può servire in alcuni casi, precisamente in quelli nei quali le misure debbono essere fatte su circuiti a bassa resistenza, il che significa, in altre parole, allorchè l'applicazione dello strumento sul circuito non altera le condizioni di funzionamento nonostante un certo consumo dovuto allo strumento stesso.

Il secondo modello, che descriveremo in dettaglio (anch'esso su questo stesso fascicolo), rappresenta invece un complesso di impiego assai più corrente. Già abbiamo detto della tendenza invalsa presso i radiotecnici, di munirsi di due tipi di « tester »: uno portatile ed uno di maggiori pretese per il laboratorio. L'apparecchio che descriviamo per secondo è appunto l'analizzatore portatile utile in moltissime contingenze in quanto di ottima precisione e di non rilevante consumo sul circuito sotto misura: la sua resistenza di carico è di 5.000 ohm per volt, il che significa che può essere impiegato per la quasi totalità delle misure che è dato di incontrare nelle comuni costruzioni radio. Infine, sarà presentata la descrizione costruttiva (alla prossima lezione 42ª) di un « tester » a 20.000 ohm per volt, dotato di numerose prerogative, tra le quali molteplici portate e la possibilità di lettura del valore di condensatori (capacimetro).

Pertanto, in merito a questa attrezzatura, riteniamo di offrire con quanto sopra la soluzione ad ogni pratica possibilità. Ciò premesso, esaminiamo ora il primo dei tre « tester » citati.

Il circuito di questo analizzatore (vedi **figura 5**) è particolarmente semplice. Sulla base dell'esame delle diverse soluzioni circuitali sin qui incontrate, non sarà

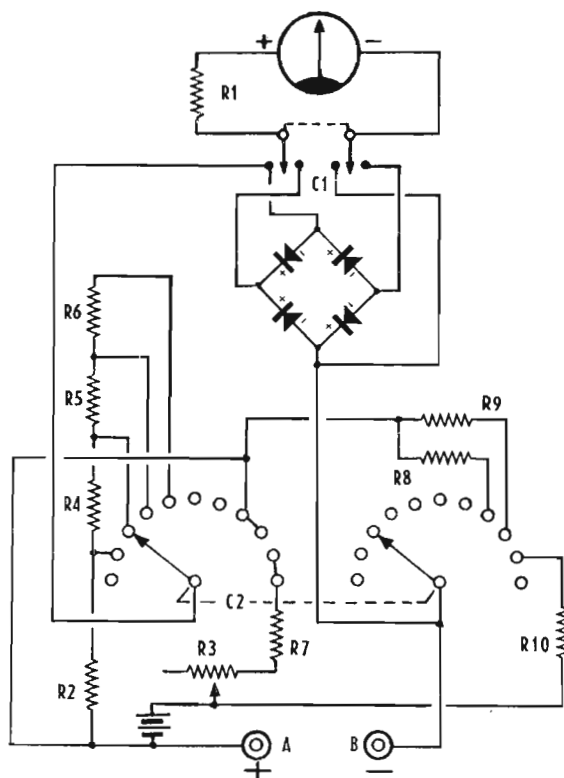



Fig. 5 — Schema del « tester » a 1.000 ohm per volt, del quale viene illustrata la costruzione. È caratterizzato dalla selezione delle portate e delle funzioni a mezzo di un commutatore unico (C2).

1 milliamperometro 0-1 mA - ICE mod. 320.
1 resistenza a filo - R1 - vedi testo - ICE.
1 resistenza chimica - R2 - 10.000 ohm ±1% — 0,5 watt.
1 potenziometro (o reostato) a filo - R3 - 1.000 ohm. ICE mod. 11, con bottone.
1 resistenza chimica - R4 - 90.000 ohm ±1% — 0,5 watt.
1 resistenza chimica - R5 - 0,4 Megaohm ±1% — 0,5 watt.
1 resistenza chimica - R6 - 4,5 Megaohm ±1% — 0,5 watt.
1 resistenza chimica - R7 - 2.200 ohm ±5% — 1 watt.
1 resistenza a filo - R8 - 11 ohm ±1% — 1 watt - ICE.
1 resistenza a filo - R9 - 1 ohm ±1% — 1 watt - ICE.
1 resistenza a filo - R10 - 30 ohm ±1% — 0,5 watt - ICE.
1 commutatore a levetta, due vie, due posizione - C1 - Mod. F 604-Romagnoli.
1 commutatore rotante a due vie, undici posizioni - C2 - Geloso 2021.
1 batteria da 3 volt - BT - (due pile a secco da 1,5 volt in serie)
2 boccole (1 rossa - A, ed 1 nera - B) per spinotto da 4 mm.
1 rettificatore a ponte per strumenti di misura - 1 mA - ICE o Romagnoli G 301.
2 spinotti (1 rosso ed 1 nero) da 4 mm.
2 puntali (1 rosso ed 1 nero) per strumenti di misura.
1 bottone ad indice, per C2.
Filo per collegamenti « push-back » o filo nudo e tubetto sterling - stagno preparato - ranelle, viti ecc.
1 pannello ed 1 cassetta - vedi testo.

difficile al lettore constatare che trattasi di un modello che seleziona funzioni e portate a mezzo di un commutatore unico, per cui alle due boccole riservate ai puntali, si avranno, volta a volta, possibilità di letture di tensione, corrente o resistenza.

Nell'intento di semplificare quanto più possibile l'assieme, si è seguita, per pervenire alle misure in corrente alternata, una soluzione circuitale non troppo ortodossa: si può vedere infatti, esaminando attentamente lo schema (o, ancora più facilmente, i diversi schemi parziali che seguono) che il complesso a ponte dei rettificatori risulta sempre connesso ai capi dello strumento indicatore nelle letture a corrente continua. Ciò fa sì che, in altre parole, una resistenza di alcune migliaia di ohm sia permanentemente presente in parallelo; in pratica — considerando tale valore nei confronti di quello assai più basso (attorno ai 100 ohm) della bobina mobile che ne risulta « shuntata » — l'effetto che ne consegue è del tutto trascurabile mentre, come si è detto, viene semplificato molto l'assieme delle commutazioni.

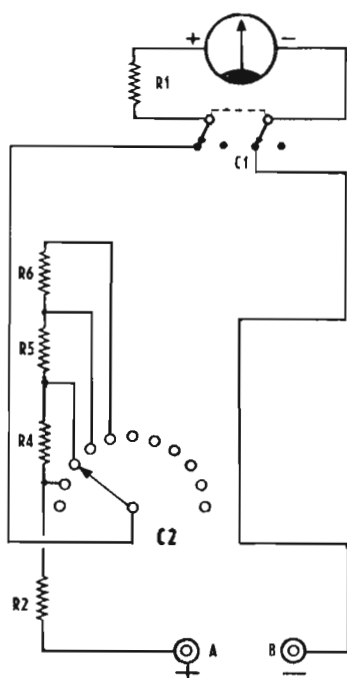
Vogliamo ora riferirci ad un particolare componente, e precisamente ad *R1*. Il compito di questa resistenza consiste nel rendere più facile — per le due portate amperometriche — l'impiego di rèsistenze di « shunt » così come esse sono reperibili in commercio. Vale a dire, che è più semplice l'adattamento al circuito di qualsiasi strumento da 100 microampère con resistenza interna di 100 ohm o meno. *R1* avrà un valore che sarà eguale a 100 meno il valore di resistenza propria dello strumento. Così, se si disporrà di uno strumento avente una resistenza interna di 60 ohm, *R1* dovrà avere il valore di 40 ohm. La resistenza interna dei diversi strumenti varia col variare della Marca: a questo scopo abbiamo predisposto una tabella, a pagina 186, elencante i valori di resistenza di una gran parte degli strumenti reperibili con facilità sul nostro mercato. Nell'eventualità che il valore che ci interessa fosse sconosciuto si potrà ricorrere, per individuarlo, al sistema illustrato a pagina 199.

Osservando l'elenco del materiale necessario si potrà notare che per la portata di 10 volt a fondo scala, viene indicata una resistenza addizionale (*R2*) di 10.000 ohm. In realtà questo valore dovrebbe essere di 9.900 ohm con uno strumento formante, unitamente ad *R1*, 100 ohm; però ciò comporta una differenza pari solo all'1% e si è preferito allora trascurare questo particolare, essendo in tal modo più facile trovare in commercio una resistenza da 10.000 ohm. Non sarà difficile d'altronde, potendo eseguire una lettura precisa di valori ohmetrici (e qui si rivela l'utilità del nostro ponte di Wheatstone, descritto dettagliatamente alla lezione 21ª) scegliere tra alcuni esemplari correnti da 10.000 ohm, quello che in realtà risulterà di 9.900 ohm, poco più, poco meno.

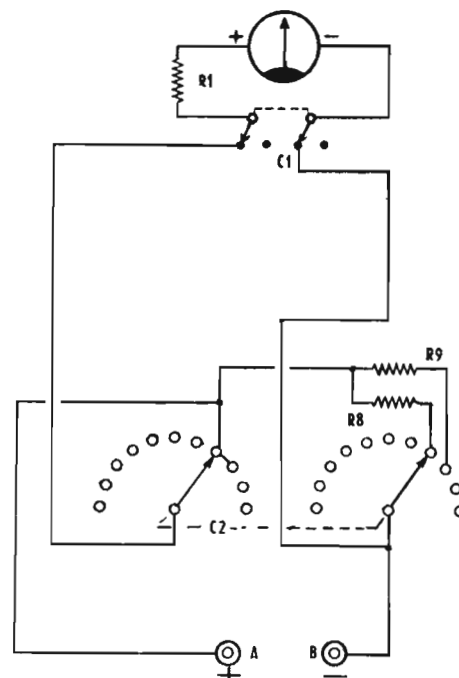
Nella posizione « corrente alternata », selezionata da *C1*, si ha una leggera perdita di precisione, inferiore peraltro al 5% e quindi consentita negli strumenti di questo tipo. Allo scopo di evitare questo inconveniente sarebbe stato necessario complicare il circuito con un sistema di commutazione e con l'impiego di una ulteriore serie di resistenze: ciò, in quanto avrebbe fatto aumentare il costo e le difficoltà di costruzione, è stato — dato le pretese limitate dell'apparecchiatura — di proposito, scartato.

Prima di accingersi alla costruzione sarà opportuno eseguire un esame separato, funzione per funzione, dei diversi collegamenti interessati esclusivamente allo svolgimento di quel dato compito (voltmetro c.c., voltmetro c.a. amperometro, ohmetro). Tale esame sarà facilitato dagli schemi appositi delle **figure** 6, 7, 8 e 9.

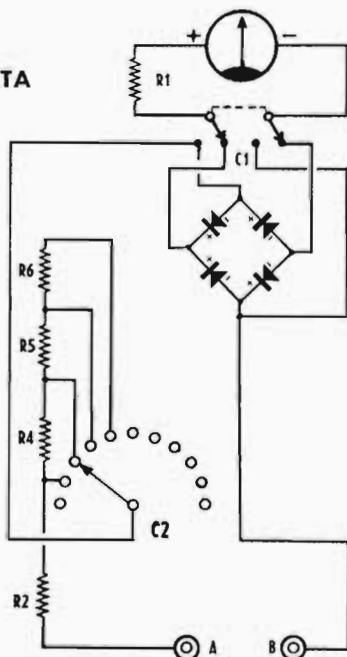
VOLTMETRO per TENSIONE CONTINUA

Fig. 6 — Con la sola resistenza addizionale R_2 (10 kohm) la portata è di 10 volt; con $R_2 + R_4$ (100 kohm totali) = 100 volt; con $R_2 + R_4 + R_5$ (500 kohm totali) = 500 volt; con $R_2 + R_4 + R_5 + R_6$ (5 Mohm totali) = 5.000 volt.

Collegamenti e organi interessati alla funzione di cui sopra. Il commutatore C_1 è in posizione C.C. Il commutatore C_2 seleziona le quattro portate di tensione a fondo scala: nella figura è in posizione di portata 100 volt (le resistenze in serie allo strumento — lato positivo — risultano essere R_2 ed R_4, oltre ad R_1 di cui è detto nel testo). Il lato negativo dello strumento è collegato direttamente alla boccola d'entrata B.

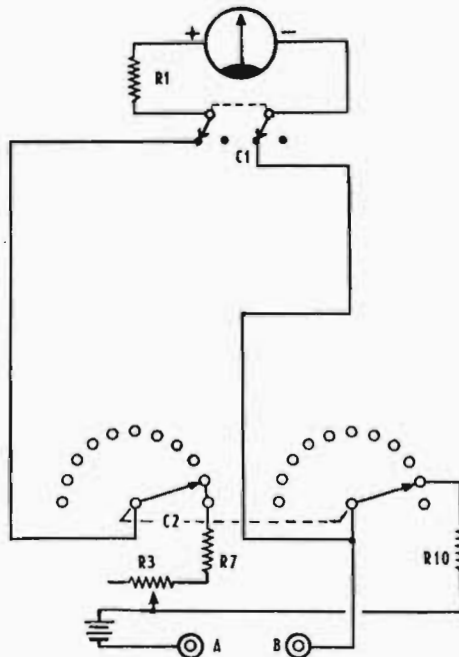
MILLIAMPEROMETRO per CORRENTE CONTINUA

Fig. 8 — La resistenza a filo R_8 presenta un valore di 11 ohm; spostando il commutatore sulla posizione successiva si inserisce R_9 (1 ohm) in luogo di R_8. La portata di lettura della corrente risulta allora di 100 mA fondo scala.

Naturalmente C_1 è in posizione per C.C. Del commutatore C_2 vengono interessate due distinte sezioni: esso è, nel disegno, in posizione di lettura 10 mA a fondo scala. La resistenza « shunt » in funzione è R_8 e si può facilmente osservare che tale resistenza risulta in parallelo alle boccole d'entrata ed allo strumento; per variare la portata, C_2 inserisce un valore più basso.

VOLTMETRO per TENSIONE ALTERNATA

Fig. 7 — I valori delle resistenze addizionali coincidono con quelli già elencati per le misure di tensione continua. Il raddrizzatore a ponte inserito, rettifica entrambe le semionde.

La disposizione, essendo quella a voltmetro, ha logicamente, molta analogia con quella di figura 6. La differenza consiste nell'inserimento in circuito del gruppo raddrizzatore a ponte. Tale inserimento si effettua portando il commutatore C_1 in posizione C.A.: il gruppo, che riceve allora a 2 suoi estremi la tensione alternata, agli altri 2 offre la tensione continua, avviata allo strumento indicatore.

OHMETRO

Fig. 9 — La resistenza variabile, a filo R_7 (1.000 ohm) è quella di azzeramento. R_7 (2.200 ohm) è la resistenza che limita il passaggio di corrente e se presente essa sola (esclusione di R_{10}) la lettura è × 100 (ultima posizione del commutatore).

Sulla base di quanto è stato esposto alla lezione precedente nei riguardi degli ohmetri, risulta che lo schema è quello del tipo cosiddetto « in serie ». Infatti la resistenza incognita, inserita tra A e B, viene a trovarsi in serie al circuito alimentato dalla apposita batteria. Nella portata di cui allo schema (R × 1) la seconda sezione di C_2 inserisce in parallelo una apposita resistenza (portate basse).

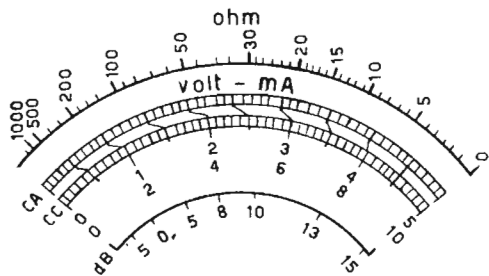



Fig. 10 — Scala che può essere riportata sul milliamperometro.

L'elenco del materiale riportato a fianco dello schema completo di figura 5 permette anzitutto di osservare che trattasi di parti abbastanza facilmente riperibile in commercio: per semplificare il compito del lettore, abbiamo indicato anche la Marca per i componenti un po' particolari. L'elenco, infine, è di aiuto per un rapido controllo circa la disponibilità di tutto il necessario prima di iniziare il montaggio.

Il « tester » praticamente risulta montato tutto su di un pannello. Quest'ultimo può essere sia metallico (ad esempio, di alluminio) che di materiale isolante. Nel primo caso raccomandiamo molto l'isolamento delle parti, specialmente in considerazione della presenza di una portata a 5.000 volt; proprio per questo il nostro suggerimento è quello di preferire un pannellino di bachelite o ebanite, sì da evitare preoccupazioni.

Il pannello, le cui misure sono indicate unitamente a

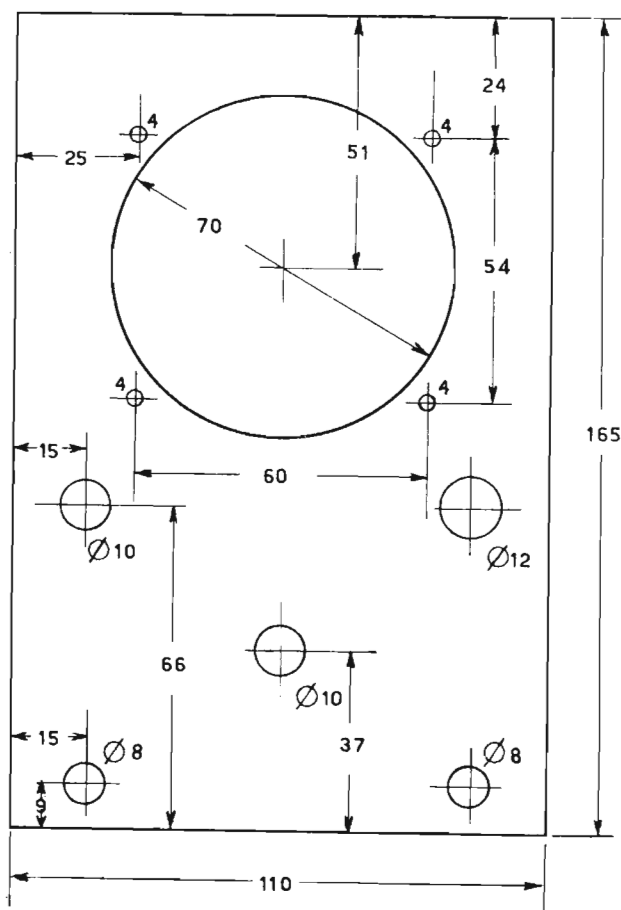



Fig. 11 — Piano di foratura del pannello frontale che supporta tutti gli organi (ad eccezione della batteria) e l'intero montaggio. Le quote sono espresse in millimetri e, naturalmente, sono in dipendenza del tipo di materiale adottato.

tutte le quote di foratura nel disegno quì pubblicato, costituirà il coperchio di una scatola. La scatola potrà essere indifferentemente di materiale isolante (ad esempio, legno) o di metallo: potrà avere una profondità di una diecina di centimetri, tale cioè da far sì che nessun componente tocchi il suo fondo e che, oltre a ciò, due pile a torcia da 1,5 volt trovino posto all'interno.

Nel disegno di foratura non sono indicati i fori relativi a 4 o 6 viti che dovranno servire a chiudere la scatola col coperchio-pannello; la loro posizione, che è pur sempre ai bordi, dipende più che altro dal tipo di scatola adottato.

Eseguita la foratura del pannello si fisseranno su di esso tutte le parti che la foratura prevede (commutatori, R_3, boccole, ecc.). Subito dopo si potrà dare inizio ai collegamenti con contemporanea inserzione delle resistenze e del rettificatore. Il nostro disegno relativo al montaggio sarà di notevole aiuto: è comunque indispensabile avere innanzi anche lo schema elettrico e su di esso segnare i singoli collegamenti mano a mano che vengono eseguiti. È preferibile usare filo semirigido isolato e si può anche impiegare filo rigido, munito di tubetto sterling.

Un criterio utile per l'esecuzione dei collegamenti potrebbe essere quello di effettuare successivamente la serie riguardante una data funzione dell'analizzatore. Ad esempio, si potrà iniziare ponendo in opera solo i conduttori e gli organi che interessano lo strumento come voltmetro per tensioni continue (vale a dire, realizzare solo quanto appare a figura 6). Fatto ciò si potrà provare il funzionamento leggendo qualche tensione nota, ad esempio — sulla portata a 10 volt — quella stessa delle pile (1,5 volt e poi 3 volt, collegandole in serie) che serviranno successivamente per l'uso come ohmetro. Avendo la possibilità di disporre di tensioni c.c. più elevate (note nel loro valore) se ne verificherà la coincidenza con la scala. La tensione di fondo scala di una portata potrà essere osservata poi sulla portata successiva più elevata: se la fonte di tensione non risente del carico dovuto allo strumento (e ciò avviene con alimentatori e batterie) questa rapida verifica servirà tra l'altro a chiarire che tutto sia in ordine. Difetti o valori errati di R_2 - R_1 - R_5 ed R_6 saranno subito messi in evidenza.

Si potrà poi passare al collegamento dei due fili che dal raddrizzatore vanno alle due linguette di C_1 ancora libere: non occorrerà altro al fine di disporre del voltmetro per tensione alternata (figura 7). Con sorgenti di tensione alternata (ad esempio, la rete di illuminazione) si potranno eseguire prove analoghe a quelle citate per la tensione continua.

Inserendo in circuito R_7 ed R_{10} (interessano il settore in basso di C_2) e provvedendo per il collegamento che da boccola + va alle due linguette del commutatore (settore in alto) e da lì al punto di unione tra R_8-R_9, si attua il misuratore di corrente (solo c. continua). Con pochi altri collegamenti infine, e con la saldatura dei due fili flessibili ai poli della batteria, si ottiene l'ohmetro per le due portate previste.

Come abbiamo premesso, questo « tester » rappresenta una soluzione economica per risolvere il problema del possesso di uno strumento utile a misure molteplici. Da

questo punto di vista quindi è logico pensare che, in molti casi, si tratterrà di utilizzare un milliamperometro di cui già il lettore dispone. Ovviamente, si potranno verificare allora differenze di aspetto e di ingombro e per la realizzazione occorrerà provvedere di conseguenza: naturalmente, la portata a fondo scala dovrà essere sempre di 1 milliampère affinchè tutti gli altri valori indicati siano validi. Per meglio adattare al nostro impiego il milliamperometro si potrà utilizzare la scala che riproduciamo appositamente. Si tratterà di smontare dalla custodia lo strumento, incollare opportunamente centrata la nostra scala e racchiudere ancora il tutto. Noi consigliamo in tal caso uno strumento di 80 per 80 mm, delle dimensioni cioè, che sono state previste per utilizzare direttamente la stampa di **figura 10**. Per strumenti più grandi si potrà tentare un ingrandimento fotografico della citata figura ma sarà sempre operazione di esito alquanto incerto.

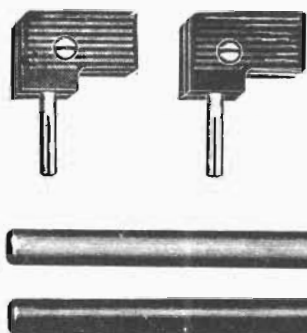



Fig. 12 — A sinistra, due spinotti del tipo classico per strumenti di misura: vanno corredati di cordone (eventualmente colorato) in capo al quale viene posto il rispettivo puntale illustrato sotto.

Adottando uno strumento diverso ed eventuali altri organi, logicamente il disegno di cui a **figura 11** deve essere opportunamente variato.

È assai utile che le due boccole alle quali vanno innestati gli spinotti dei due puntali di lettura siano di diverso colore: meglio ancora, è opportuno sia rossa l'una (positivo) e nera l'altra (negativo).

Il « tester » dovrà essere completato appunto dai due puntali ai quali si è ora fatto cenno, connessi ognuno ad un cordone flessibile (eventualmente anch'esso analogamente colorato) terminante in uno spinotto. Sia gli spinotti che i puntali usuali per impieghi del genere sono illustrati alla **figura 12**.

Il complesso dei diodi raddrizzatori viene fornito, in commercio, già montato nel suo circuito a ponte: un modello per strumenti è quello illustrato a **figura 13**.

È opportuno chiarire qualche particolare in merito

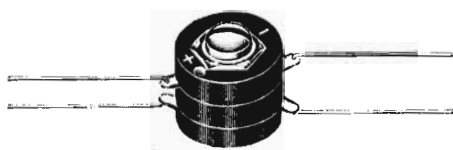



Fig. 13 — Modello di raddrizzatore a ponte per strumenti di misura: a volte ha anche forma rettangolare.

al commutatore C_2. Si tratta di un commutatore a due sezioni: ogni sezione è posta su una propria piastrina e ogni piastrina è collocata su un diverso piano. Ogni sezione presenta una linguetta per il rotore e 11 linguette per altrettanti contatti esterni, però non tutti i contatti

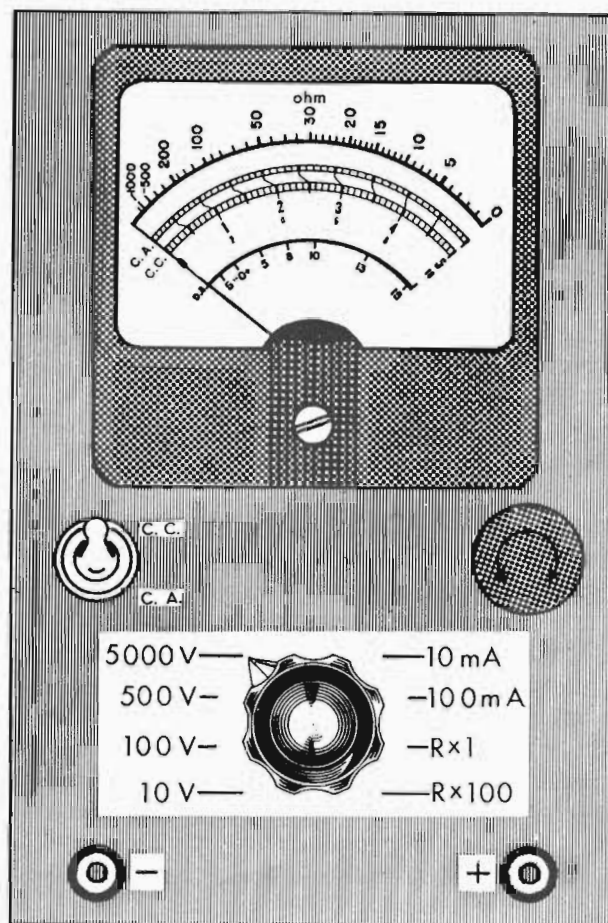
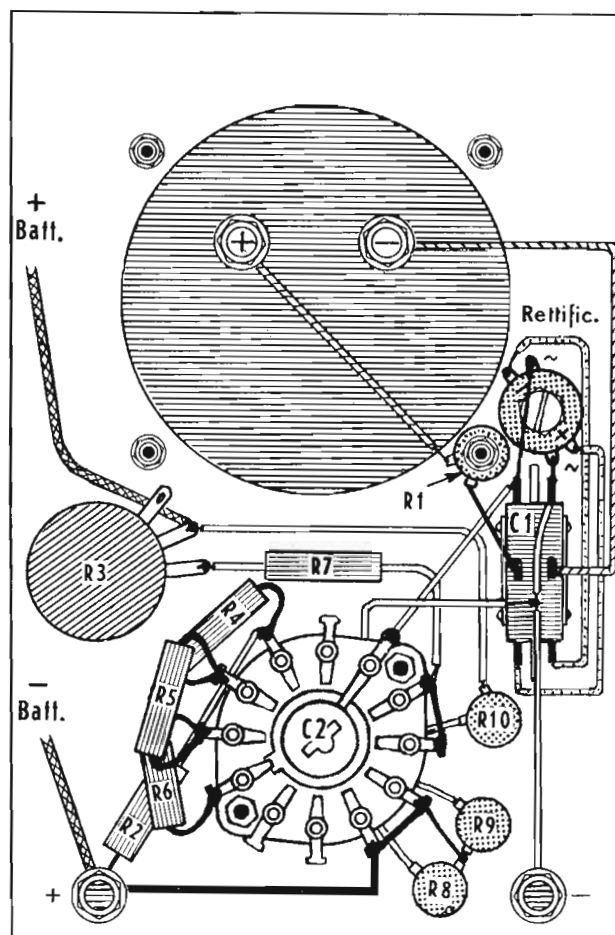



Fig. 14 e 15 — Il pannello visto frontalmente e dal retro, con disegno delle parti e dei diversi collegamenti relativi.

vengono utilizzati. La piastrina posta in alto, ossia verso l'osservatore, guardando il disegno del montaggio, impegna otto contatti: quella sottostante (non visibile nel disegno) ne impegna solo tre (si veda anche lo schema elettrico). Inoltre, si noti che si verificano tre posizioni (la prima e la 6ª e 7ª) per le quali su entrambe le piastrine non si ha alcuna commutazione utile. Lo scopo di ciò è evidente se si osserva il pannello frontale (**figura 14**). Il commutatore deve essere montato in maniera che al suo secondo scatto (il primo è appunto quello inutilizzato) l'indice del bottone corrisponda alla selezione 10 V. Dopo altri tre scatti (100 - 500 - 5.000 V) si incontrano il 6º e 7º ancora a vuoto: per essi non vi è alcuna indicazione sul pannello. Con l'ottavo scatto si indica la portata milliamperometrica di 10 mA, e così via sino all'undicesimo che serve per la seconda portata ohmetrica (R × 100). Con l'accorgimento di cui si è detto si è potuto predisporre le indicazioni di lettura e separare le funzioni in modo razionale ed estetico. Un più completo apporto di quest'ultima dote dipenderà dai gusti del lettore in quanto molte sono le soluzioni per la finitura dell'assieme. Le indicazioni e le diciture possono essere fatte pantografare direttamente sul pannello: possono essere pantografate o scritte su targhette singole, su targa unica, a mano libera, a stampa, ecc. Tutto il pannello può essere verniciato, o fatto verniciare a fuoco, lucido, opaco, a vernice raggrinzante, ecc. Così dicasi della cassettina.

NORME sull'USO dei « TESTER »

Prima di servirsi di un « tester » del commercio per effettuare delle misure, è opportuno leggere con la massima attenzione tutte le istruzioni di uso contenute nel libretto che generalmente viene fornito con lo strumento; tali istruzioni devono essere seguite scrupolosamente. Il pannello frontale, ed in particolare la zona che circonda le boccole di collegamento alle varie portate, deve essere pulito ed asciutto, allo scopo di evitare che le sostanze umide o eventualmente conduttive ivi depositate sotto forma di polvere, possano chiudere parzialmente un circuito esterno tra le boccole stesse, costituendo così una perdita di isolamento che si traduce in un errore di lettura, specie se lo strumento è molto sensibile.

Nell'uso di un « tester » su qualunque sua portata, è necessario osservare la seguente procedura:

Quando esiste una regolazione dello zero, essa deve essere effettuata prima di eseguire qualsiasi lettura ohmetrica, in quanto, negli ohmetri a diverse portate, non è sempre possibile realizzare i circuiti in modo tale che l'azzeramento sia costante per tutte le portate stesse.

Nelle portate volt-amperometriche non esiste, come sappiamo, alcun azzeramento, ad eccezione di quello meccanico che agisce direttamente su una delle spirali antagoniste dell'equipaggio mobile; questa particolare messa a zero va controllata solo di tanto in tanto. È inoltre opportuno rilevare che gli strumenti montati sugli analizzatori di produzione commerciale, devono quasi sempre essere usati in posizione orizzontale.

Nelle portate ohmetriche è invece indispensabile disporre del controllo manuale di azzeramento, di cui si è detto, al fine di compensare le eventuali variazioni di tensione della o delle batterie, variazioni dovute al loro uso o al naturale invecchiamento.

Se l'azzeramento non viene raggiunto mediante l'uso del controllo esterno, è necessario sostituire le batterie, oppure agire sul controllo interno allo strumento stesso, secondo quanto eventualmente specificato nelle istruzioni.

Prima di effettuare qualsiasi misura, sia voltmetrica che amperometrica, adattare lo strumento alla portata più alta, e diminuire poi detta portata fino ad avere una lettura il più possibile prossima al fondo scala destro, tenendo presente che il passaggio da una portata all'altra deve essere sempre effettuato dopo aver staccato dal circuito almeno uno dei puntali.

Ad esempio, se si deve misurare una tensione sconosciuta, in c.c., con uno strumento avente le portate 10, 50, 250, 500 e 1.000 volt, conviene partire dalla portata 1.000 V. ed effettuare la lettura; se essa non è apprezzabile, si prova con la portata immediatamente inferiore, e così via, fino ad avere l'indicazione più facilmente leggibile.

Altrettanto vale per le portate in c.a., nonchè per le portate amperometriche: resta però inteso che, nel caso si sappia a priori l'ordine di grandezza della tensione o della corrente da misurare, detta procedura potrà essere seguita parzialmente e cioè soltanto nel senso che si adatterà lo strumento ad una portata il cui fondo scala sia certamente maggiore del valore da misurare, e ciò ovviamente ad evitare che l'indice venga spostato violentemente oltre il valore massimo della sua deviazione, col pericolo di gravi danni all'equipaggio mobile.

Prima di effettuare letture ohmetriche, assicurarsi che non vi siano differenze di potenziale ai capi di Rx, ossia della resistenza da misurare. Scaricare tutti i condensatori presenti nel circuito in esame, cortocircuitandoli per qualche secondo. Ciò è importante in quanto, qualsiasi tensione esterna che riesca ad introdursi nel circuito dello ohmetro attraverso i puntali, può sommarsi a quella della batteria ivi contenuta danneggiando lo strumento.

I commutatori rotanti presenti sul pannello frontale non sono generalmente a rotazione continua, ossia hanno un punto di arresto sia in senso orario che viceversa: detto punto di arresto deve essere avvertito con la mano, e non si deve tentare di vincerne la resistenza meccanica, onde non danneggiare il commutatore.

Osservare quindi tutte le precauzioni elencate precedentemente, sia per evitare guasti allo strumento, sia per ottenere le misure più esatte.

Il « tester » viene usato nella riparazione e nel collaudo delle apparecchiature elettroniche in qualunque caso occorra un voltmetro, un amperometro, o un milliamperometro od un ohmetro. Il voltmetro e l'amperometro vengono utilizzati col circuito in funzione — ossia sotto tensione — al fine di misurare le correnti o le tensioni, accertarne la presenza o valutarne l'intensità o l'ampiezza. L'ohmetro viene invece impiegato con l'apparecchio spento — ossia senza tensioni, o « a freddo » — per verificare il valore delle resistenze, per controllare le capacità e la loro eventuale perdita di isolamento, nonchè per rintracciare i punti di massa, per verificare la continuità dei circuiti e la eventuale presenza di cortocircuiti.

SIMBOLI - ABBREVIAZIONI

Rx = Resistenza incognita

S = Commutatore

VOM = volt-ohm-milliampèrometro

REG = Regolazione ohmetro (zero)

OHM ADJ. = « ohm Adjustment » = REG

$\overset{=}{\text{V-mA}}$ = volt-milliampère in c.c

V∿ = volt in c.a.

Output = Uscita

FORMULE

Per tarare la scala di un ohmetro in serie

$$Rx = Rc \left(\frac{I1 - I2}{I2}\right)$$

nella quale:

Rx = resistenza incognita

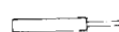
Rc = resistenza totale con puntali cortocircuitati

I1 = corrente totale con puntali cortocircuitati

I2 = corrente ottenuta quando Rx viene collegata in serie

Per tarare la scala di un ohmetro in parallelo

$$Rx = Rm \left(\frac{I1}{I1 - I2}\right)$$

nella quale:

Rx = resistenza incognita

Rm = resistenza interna dello strumento (bobina mobile)

I1 = corrente dell'ohmetro (con Rx esclusa)

I2 = corrente dell'ohmetro (con Rx in circuito)

SEGNI SCHEMATICI

= Puntale per strumento analizzatore

= Boccola da pannello

= Boccola da pannello

= Commutatore a molletta

DOMANDE sulle LEZIONI 25ª e 26ª

N. 1 —
Cosa si intende per « ohmetro »?

N. 2 —
Quale è la differenza tra un ohmetro in serie ed un ohmetro in parallelo?

N. 3 —
Perchè in un ohmetro esistono diverse portate?

N. 4 —
Come è possibile estendere le portate a bassa resistenza di un ohmetro?

N. 5 —
Come è possibile estendere le portate ad alta resistenza di un ohmetro?

N. 6 —
In qual modo vengono interpretate le letture di un ohmetro nelle varie portate?

N. 7 —
Perchè in un ohmetro è necessario effettuare l'azzeramento prima di qualsiasi misura?

N. 8 —
Allorchè si effettua una misura di resistenza in un circuito, quale è la prima precauzione da osservare?

N. 9 —
Perchè i puntali di un ohmetro devono essere sempre isolati tra loro, tranne che durante le misure?

N. 10 —
Cosa si intende per « multimetro »?

N. 11 —
Quanti sistemi esistono per commutare le portate di un multimetro?

N. 12 —
In quali portate è più vantaggioso evitare l'uso di commutatori?

N. 13 —
Se un multimetro ha le portate di 50, 100, 500 e 1.000 volt f.s., su quale portata sarà opportuno leggere una tensione di 300 V?

N. 14 —
Se la tensione o la corrente da misurare sono completamente sconosciute, in quale portata si effettuerà la prima lettura?

N. 15 —
In quale modo è possibile effettuare la misura di una tensione di 1.000 volt, se la portata massima dello strumento è di 500 volt?

N. 16 —
Per quale motivo è indispensabile evitare che, nelle misure, l'indice dello strumento si sposti violentemente verso il fondo scala?

N. 17 —
È possibile misurare l'isolamento con un multimetro?

N. 18 —
Quante e quali sono le misure che un multimetro deve poter consentire?

RISPOSTE alle DOMANDE di Pag. 185

N. 1 — Una corrente che inverte periodicamente la sua direzione, mentre la corrente continua scorre sempre nel medesimo senso.

N. 2 — La corrente continua subisce perdite notevoli se trasportata a lunga distanza. La corrente alternata invece si presta a tale scopo in quanto può essere trasformata.

N. 3 — Oersted scoprì l'elettromagnetismo; Faraday scoprì che un campo magnetico poteva produrre una corrente, ed Henry tradusse in leggi fisiche i relativi princìpi.

N. 4 — L'intensità del campo magnetico e la velocità del conduttore che in esso si muove.

N. 5 — f.e.m. indotta $= B \times l \times v \times \text{Sen-}0 \times 10^{-8}$.

N. 6 — A 90° è massima, a 0° è zero.

N. 7 — Con la regola di Fleming della mano destra.

N. 8 — Esso consta di un campo magnetico prodotto da un magnete (permanente o elettrico), da un avvolgimento che ruota in detto campo grazie ad una forza esterna, e di un collettore dal quale le spazzole prelevano la corrente.

N. 9 — In quanto esprime graficamente le variazioni di ampiezza della tensione o della corrente in funzione dell'angolo di fase.

N. 10 — Mediante la formula seguente:

$$\text{Freq.} = \frac{\text{Numero poli} \times \text{Numero rotaz. al minuto}}{120}$$

N. 11 — Per valore istantaneo si intende il valore corrispondente ad un qualsiasi istante nel tempo. La tensione di picco corrisponde al massimo valore istantàneo. La tensione efficace è il valore corrispondente in corrente continua che produrrebbe la medesima quantità di calore attraverso la medesima resistenza e nel medesimo tempo.

N. 12 — La « fase » è la differenza nel tempo tra qualsiasi punto di un ciclo, e l'inizio del ciclo stesso.

N. 13 — In fase, allorchè i valori massimi, medi e nulli coincidono nel tempo con la medesima polarità. Sfasati allorchè tale condizione manca. Con uno sfasamento di 180° i valori massimi coincidono, ma con polarità opposta.

N. 14 — Gli strumenti a ferro mobile, nelle varie versioni.

N. 15 — Facendo passare la corrente attraverso un rettificatore che la trasformi in continua.

N. 16 — Tre: ad una semionda, a due semionde in controfase, e a due semionde a ponte.

Per le seguenti misure:

VOLT C.C. = 10 - 50 - 250 - 1000 f.s.
VOLT C.A. = 10 - 50 - 250 - 1000 f.s.
MILLIAMPERE C.C. = 1 - 10 - 100 - 1000
OHM = 0 - 20.000; 0 - 200.000; 0 - 2 - MΩ

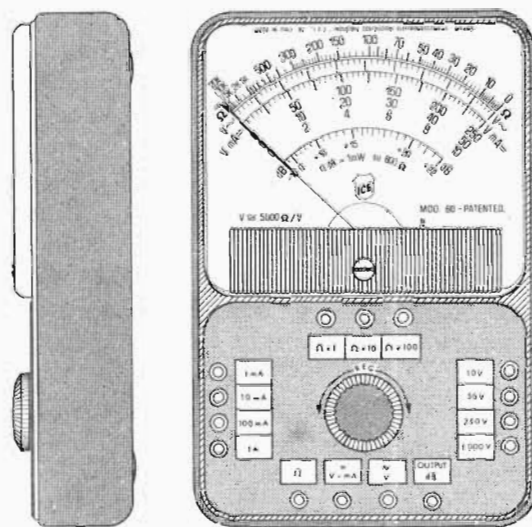



Fig. 1 — Veduta di fianco e frontale del « tester ». L'ingombro, molto limitato, lo rende addirittura « tascabile ». La lunghezza è di 12,6 cm, la larghezza di 8,5 cm e lo spessore di 2,8 cm. Caratteristico è l'ampio quadrante che, unitamente all'assenza della abituale cornice dello strumento, consente chiare e precise letture.

I criteri di progetto di questo apparecchio di misura sono già stati esposti: ripetiamo, a buon conto, che con questo « tester » si vuole offrire al lettore la possibilità di dotare il suo laboratorio di un piccolo complesso che, per modeste siano le mire di un radioamatore, risulta assolutamente indispensabile. Non è concepibile infatti che ci si dedichi alla radiotecnica, sia pure a scopo dilettantistico, senza disporre, ad un certo punto, di un apparecchio di misura delle tensioni, delle correnti e delle resistenze.

Abbiamo illustrato, è vero, già un tipo di realizzazione, ma abbiamo anche fatto presente le notevoli limitazioni che il voltmetro con resistenza di 1.000 ohm per volt presenta in molte contingenze. Salvo casi particolari, allora, è senz'altro consigliabile attrezzarsi con un tipo a resistenza interna più alta, e questo è appunto la differenza principale del modello che qui descriviamo (**figura 1**), nei confronti del citato « tester ».

Un'altra differenza sta nel numero delle portate di corrente e di resistenza, che sono rispettivamente quattro e tre, in contrapposto a due e due. Infine, un'ultima differenza è data dall'aspetto del complesso finito che in questo caso non ha nulla di dilettantistico perchè il montaggio risulta da un assieme di parti tutte appositamente costruite per l'impiego specifico in un apparecchio di misura. Si noti che, pur avendosi dimensioni generali minori, si ha a disposizione — con evidente vantaggio di lettura — una scala assai più ampia, con diciture già predisposte: non è necessario perciò provvedere in merito come avviene con lo strumento precedente.

COSTRUZIONE DI UN ANALIZZATORE O "TESTER" - (5.000 ohm per volt)

MISURATORE D'USCITA - SCALA in dB

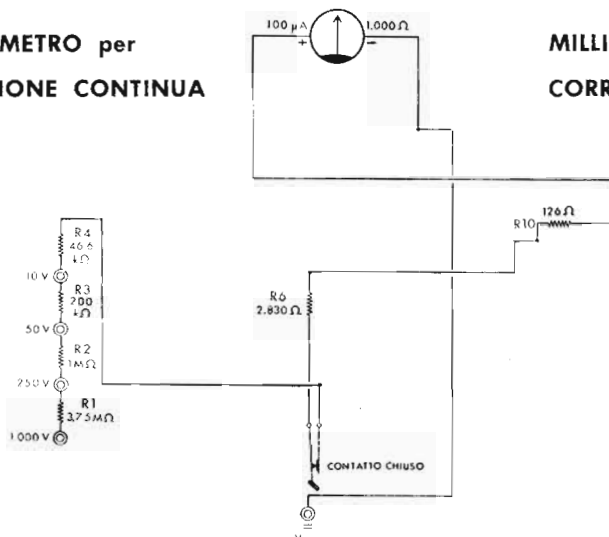



Fig. 2 - Lo spinotto del puntale negativo (nero) va inserito nella boccola collocata in basso che è in diretto collegamento con il morsetto negativo dello strumento. L'inserimento provoca — mediante una molletta isolata — la chiusura di un contatto posto sul conduttore del lato positivo e, come si vede, subito dopo le resistenze addizionali delle diverse portate (R_1 - R_2 - R_3 - R_4). In tal modo lo spinotto assicura la continuità del circuito che interessa. Il secondo spinotto (puntale positivo = rosso) sarà inserito in una delle quattro boccole indicate a sinistra sullo schema, a seconda della portata desiderata.

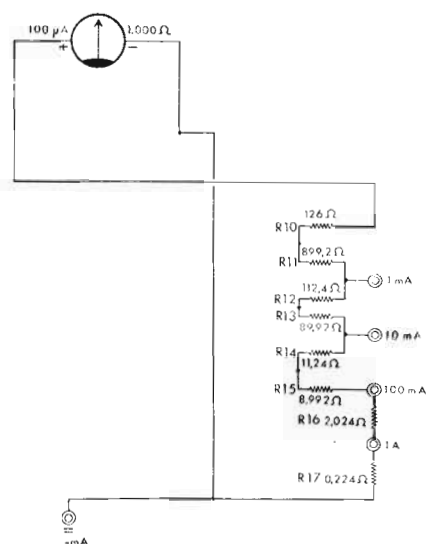



Fig. 4 - La boccola in basso (negativo) è la stessa che serve al « tester » nella predisposizione già illustrata, come voltmetro c. c. Il secondo puntale deve essere inserito (a seconda della portata prescelta) in una delle quattro boccole collocate dal lato opposto a quelle della funzione di voltmetro. Si potrà notare che le resistenze da R_{10} a R_{17} in parte agiscono da « shunt », ed in parte vengono a trovarsi in serie nel circuito di misura, in dipendenza della portata. Il contatto stabilito dalla molletta con l'introduzione in essa dello spinotto (boccola in basso) non ha qui alcuna funzione.

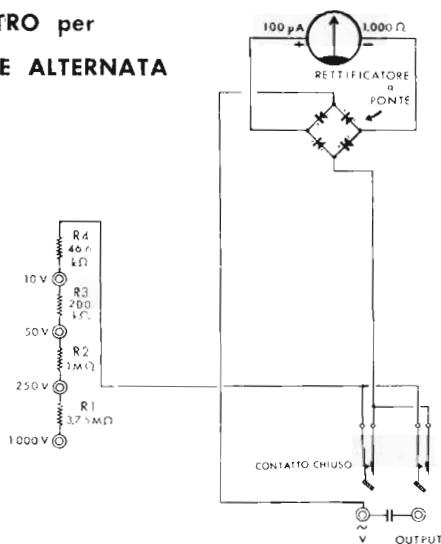



Fig. 3 - Il lato delle resistenze addizionali, con la scelta della portata, rimane identico a quello della posizione già vista per la tensione continua. Viene variata invece la boccola per l'altro puntale (quella in basso): lo spinotto deve essere passato sulla boccola che reca il segno della c. alternata. L'inserimento attua ed assicura contemporaneamente la continuità del circuito interessato. Quanto si è ora esposto vale anche per la boccola « output » (misuratore di uscita) con l'unica differenza dell'interposizione di un condensatore. Al ponte viene avviata la c. a. e da esso si ricava la c. c. per lo strumento.

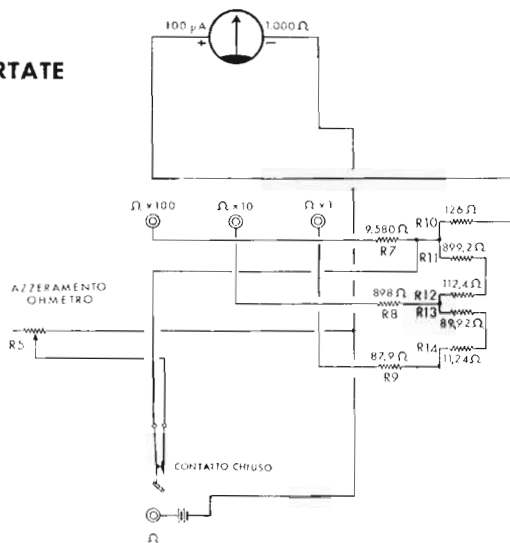
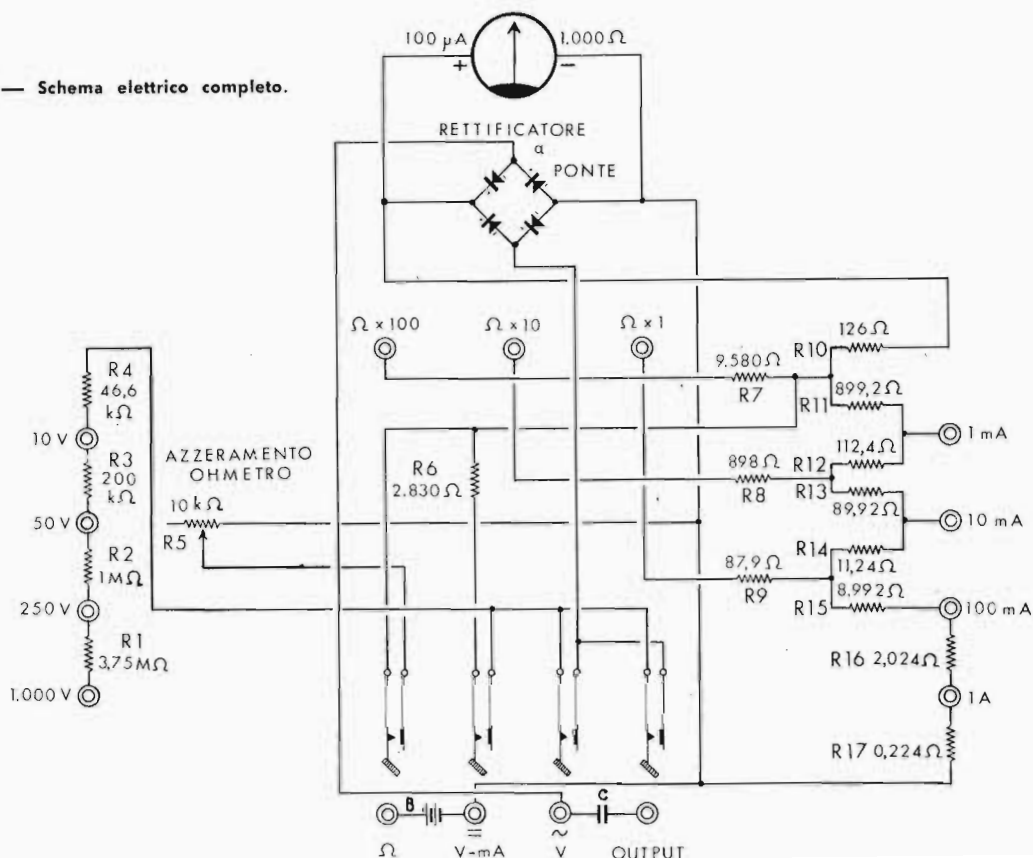



Fig. 5 - Per questa funzione si ha una boccola apposita, per uno spinotto (in comune per le tre portate) in basso, e tre boccole (una per portata) in alto, per l'altro spinotto. Con l'inserimento dello spinotto in basso avviene — mediante il già visto sistema della molletta isolata — la chiusura del circuito interessato. In parallelo allo strumento indicatore resta allora inserito sempre l'assieme R_{10} - R_5 per l'azzeramento. Il circuito ha molta analogia con quello di figura 3 della lezione 25ª (pagina 196): è un tipo di ohmetro in serie (la resistenza incognita viene inserita in serie) con resistenze in parallelo.

Fig. 6 — Schema elettrico completo.

- 1 pannello-supporto in bachelite, munito di mollette, boccole e pagliette di saldatura, strumento (100 μA) e reostato (R5) da 10.000 ohm, con bottone.
- 1 resistenza da 3,75 Megaohm - R1.
- 1 resistenza da 1,0 Megaohm - R2.
- 1 resistenza da 200 kohm - R3.
- 1 resistenza da 46,6 kohm - R4.
- 1 resistenza da 2.830 ohm - R6.
- 1 resistenza da 9,580 ohm - R7.
- 1 resistenza da 898 ohm - R8.
- 1 resistenza da 87,9 ohm - R9.
- 1 resistenza da 126 ohm - R10.
- 1 resistenza da 899,2 ohm - R11.
- 1 resistenza da 112,4 ohm - R12.
- 1 resistenza da 89,92 ohm - R13.
- 1 resistenza da 11,24 ohm - R14.
- 1 resistenza da 8,992 ohm - R15.
- 1 resistenza da 2,024 ohm - R16. avvolta con filo sottile su supporto.
- 1 resistenza da 0,224 ohm - R17. avvolta con filo grosso su supporto.
- 1 condensatore a carta da 50.000 pF - C.
- 1 batteria a secco da 3 volt - B.
- 2 spinotti con cordone e puntali.
- 1 raddrizzatore a ponte per strumenti - Rett.
- 1 scatola custodia (coperchio retro) in materiale plastico elastico, con viti di chiusura.
  Filo per collegamenti, stagno tubolare preparato, tubetto sterling.
- 1 astuccio in resinpelle, a richiesta.

Accennate le più evidenti differenze con il « tester » a 1.000 ohm per volt, esaminiamo in dettaglio questo nuovo apparecchio. Le **figure 2-3-4** e **5** rappresentano gli schemi interessati alle diverse funzioni: il testo relativo riteniamo possa porre il lettore in grado di comprendere chiaramente lo svolgersi delle funzioni dei singoli organi. Riunendo gli schemi parziali citati — che per facilitare l'identificazione, sono stati disegnati così come risultano nello schema generale — si perviene a quest'ultimo, riportato alla **figura 6.** Aggiungeremo anche che, come è fatto cenno alla figura 2, la predisposizione a voltmetro per tensione alternata è utilizzata, salvo la presenza del condensatore *C* in serie all'apposita boccola, per letture di tensione cosiddette « d'uscita ». Si tratta di un impiego la cui utilità verrà illustrata in seguito, allorchè ci occuperemo di taratura di apparecchi, di comportamento di amplificatori ecc. Possiamo chiarire intanto che lo scopo del condensatore *C* è quello di impedire il passaggio di una eventuale tensione continua che esistesse nel circuito sul quale si dovessero effettuare misure della tensione (alternata) d'uscita. Anche l'utilità e l'impiego della scala in « dB », ossia in « decibel » sarà illustrata allorchè avremo trattato l'argomento, vale a dire spiegato ciò che tale unità di misura intende rappresentare e quando ad essa è opportuno fare ricorso.

Una caratteristica costruttiva subito evidente è l'assenza di qualsiasi commutatore rotante o a leva: ne deriva una semplificazione di montaggio, una maggiore sicurezza di funzionamento, e, in particolare modo, una possibile, e qui attuata riduzione dell'ingombro genera-

le. Basti dire che lo strumento non misura più di 2,8 cm di spessore. È ovvio che, per contro, deve essere spostato sempre almeno uno spinotto (da una boccola all'altra) allorchè si vuole cambiare portata o tipo di lettura: si tratterà perciò di fare l'abitudine a questa tecnica di misura che peraltro ha il vantaggio di far riflettere un momento sul tipo e sull'entità di misura che ci si accinge a compiere.

MONTAGGIO

Le parti vengono fornite in unico assieme, come scatola di montaggio. Il compito del costruttore risulta così enormemente semplificato, e di maggiore garanzia il buon esito finale.

Tutte le mollette di contatto, nonchè le linguette di ancoraggio e saldatura, sono già montate al loro posto sul pannello-supporto di bachelite, così come appare alla **figura 7.** Anche le due molle di contatto per la pila ed il potenziometro di azzeramento (*R5*) risultano installate. A proposito di *R5* diremo che il tipo fornito può essere, per gli aspetti della sua costruzione (dimensioni ridottissime e sicurezza di funzionamento) sintomatico per indicare la cura e lo studio che sono stati posti nel progetto generale; esso è infatti contenuto entro lo stesso bottone di azzeramento!

La figura 7 indica i primi collegamenti da effettuare. Si tratta di quei collegamenti che per la posa di altre parti successive risultano in seguito poco accessibili, sicchè è opportuno siano eseguiti come primi.

Durante il montaggio è indispensabile evitare di piegare o torcere le mollette di contatto che provvedono a trattenere gli spinotti dei puntali allorchè questi vengono inseriti; ciò per non diminuire l'elasticità delle mollette stesse. Quanto detto assume ancora maggiore importanza nei confronti dei contatti abbinati alle boccole inferiori, che predispongono lo strumento alle varie letture a seconda della boccola prescelta. La distanza tra i contatti non deve variare onde non compromettere il funzionamento.

A questo punto dobbiamo richiamare l'attenzione del lettore sulla grande importanza che vengono ad assumere in questa contingenza le saldature. Abbiamo dedicato, a suo tempo, ampio spazio all'esposizione della tecnica di saldatura dei collegamenti ed ai saldatori necessari. Presumiamo che, prima di accingersi a questo montaggio, il lettore abbia eseguito altre saldature: affermiamo, anzi, che ciò è indispensabile. Occorre possedere una buona sicurezza in merito perchè qui l'operazione è assai delicata, tanto che è preferibile, per chi non si sentisse ancora troppo sicuro, ricorrere all'acquisto del « tester » già montato. Il saldatore dovrà essere a punta lunga, curva e sottile, per consentire l'accesso ad alcuni punti non facilmente raggiungibili.

Consigliamo, dopo i collegamenti già indicati alla figura 7, di inserire quelle resistenze che vengono saldate a punti ove già si ancorano i collegamenti eseguiti. Ciò avviene nei confronti di *R4*, ad esempio, alla quale, sulla molletta laterale, dovrà unirsi un terminale di *R3*.

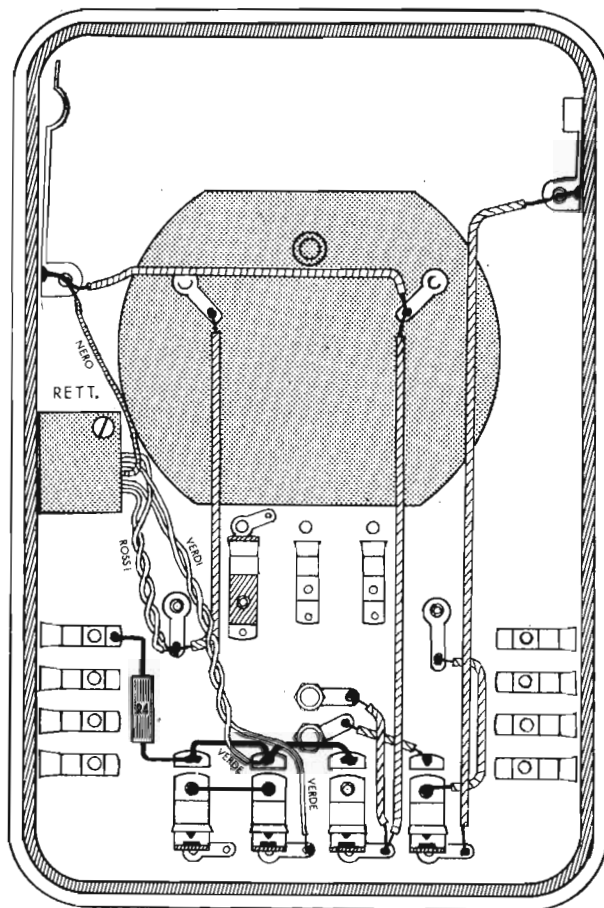



Fig. 7 — Pannello-supporto con mollette e pagliette per saldatura. Sono indicati i primi collegamenti da eseguire.

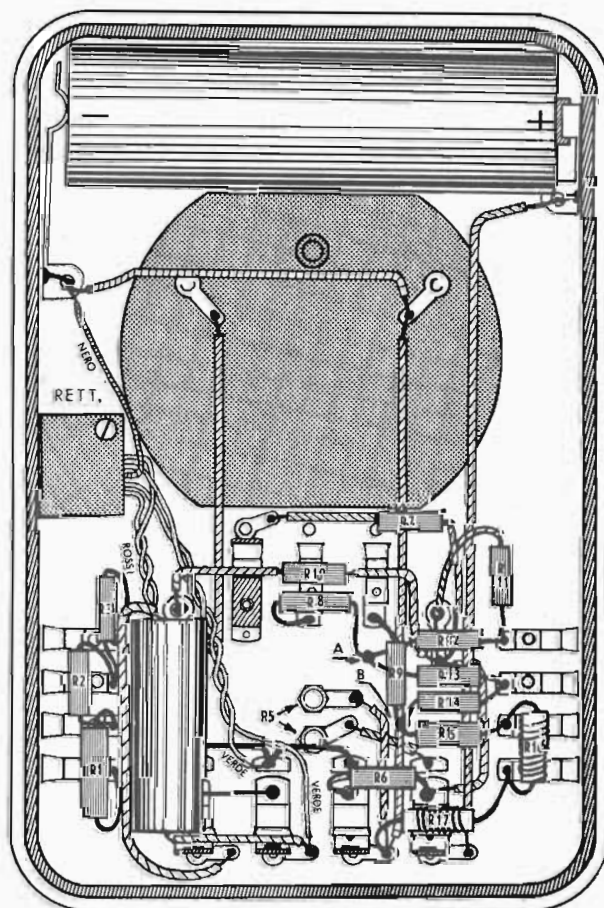



Fig. 8 — Assieme a collegamenti terminati e pila inserita nel suo alloggiamento.

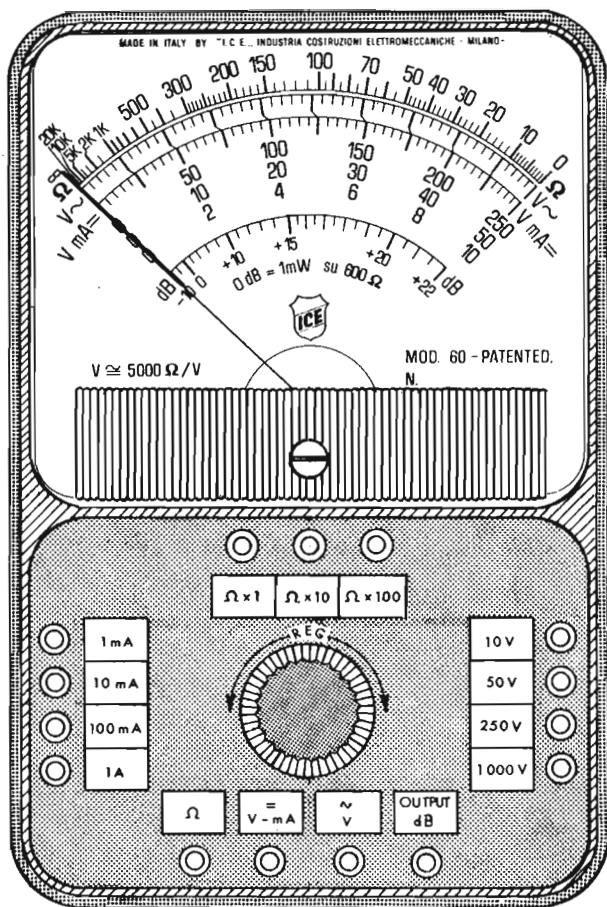



Fig. 9 — Aspetto del « tester », nelle sue dimensioni reali. Il pannello frontale, montato sul supporto di bachelite, è un pezzo unico in materiale plastico molto trasparente (« cristal ») che elimina il classico vetro degli strumenti. Il peso totale è di 280 grammi.

Analogamente, alla paglietta di destra (già connessa ad un conduttore) dovranno ancorarsi ancora *R11*, *R7* ed *R10*.

Particolare cura va posta nel montaggio del rettificatore. I due collegamenti verdi possono essere intercambiati tra loro in quanto costituiscono l'ingresso della corrente alternata. Per contro, i due conduttori rossi, facenti capo al medesimo ancoraggio, costituiscono il punto di uscita positivo, ed il nero è invece il terminale negativo. Detti collegamenti, flessibili ed assai delicati, possono facilmente rompersi implicando la necessità — in tal caso — di sostituire il rettificatore stesso. Sarà dunque bene effettuarne i collegamenti al più presto onde evitare l'inconveniente di cui sopra.

Nel montaggio si hanno due punti di incontro di più terminali di resistenze che non sono ancorati ad alcuna paglietta ma formano un'unione « volante ». Li abbiamo indicati (**figura 8**) con una freccia nel disegno e le lettere « A » e « B ». In « A » si uniscono *R8* con *R13* e con *R12*; in « B » si uniscono *R9* con *R14* e con *R15*.

A parte le citate avvertenze, il lettore potrà seguire un qualsiasi suo criterio nella scelta della successione dei collegamenti: potrà, ad esempio, collocare completamente tutte le resistenze addizionali che riguardano le portate voltmetriche, poi tutte quelle delle portate amperometriche, o viceversa. Ultimo organo da collocare, perchè ingombrante, è il condensatore *C* i cui conduttori vanno saldati (dopo averli ricoperti di tubetto sterling) uno alla prima e l'altro alla seconda (da sinistra) molletta in basso. Sia in figura 7 che in figura 8 i conduttori tratteggiati sono del tipo gommato o sterlingato: quelli neri possono essere del tipo nudo.

Come per tutti i montaggi è necessario avere innanzi a sè, sempre, lo schema elettrico completo, ed è buona norma segnare su di esso i singoli collegamenti, mano a mano che gli stessi risultano eseguiti: si eviterà, in tal modo, di dimenticare qualche unione tra le parti o di collegare le stesse in modo errato. Il piano di montaggio della figura 8 naturalmente sarà di grande aiuto ma, ripetiamo, è sulla scorta della figura 6 che il lavoro deve essere controllato.

Una buona pulizia attorno alle saldature, un esame a chè non vi siano saldature « fredde », gocce di stagno « volanti », o blocchi di stagno troppo voluminosi sulle saldature stesse, sono raccomandazioni sulle quali non è male insistere.

L'apparecchio non richiede alcuna messa a punto perchè non vi sono organi di taratura. Se i collegamenti sono esatti anche il funzionamento lo è. Si potrà subito provare l'assieme come voltmetro per corrente continua con la misura di tensione della batteria di cui si dispone e che non sarà stata ancora collocata tra le sue mollette. Per far ciò si inserisca lo spinotto del « negativo » nella seconda boccola (da sinistra) in basso: tale boccola è quella che, come è noto, può essere definita « comune » in quanto è appunto comune a molte misure del « tester » e da essa lo spinotto va tolto solo per passare alle letture ohmetriche o a quelle in alternata. L'altro spinotto sarà inserito sulla boccola « 10 V »: i due puntali saranno poi posti in contatto con la pila, naturalmente rispettando la polarità. Per chi non lo sapesse, ricordiamo che il fondo della batteria è il polo negativo e il positivo è sempre il cilindretto sporgente. La lettura sarà di 3 volt circa (a metà percorso cioè tra l'indicazione del 2 e quella del 4). Un'altra lettura subito possibile è quella della tensione di rete. Uno spinotto (è indifferente quale esso sia perchè, con la corrente alternata, non si ha individuazione di polarità) va posto nella seconda boccola (da destra) in basso; l'altro nella boccola « 250 V ». Portando i puntali a contatto con le due boccole di una presa « luce » (attenzione a non toccare parti metalliche nè degli spinotti nè dei puntali, ecc.) si leggerà la tensione di rete sulla scala stampata in rosso. Tutto ciò naturalmente non disponendo di altre sorgenti di corrente (alimentatori, ecc.), sorgenti che il neofita in realtà non possiede perchè sinora ciò non è stato oggetto di nostre lezioni. È ovvio che col procedere delle lezioni perverremo ad un punto in cui l'impiego del « tester » sarà assai frequente, ed allora si scoprirà quale prezioso strumento esso sia veramente.

Nell'uso del « tester » occorre ricordare le norme che abbiamo riferite a pagina 208: per questo tipo in particolare, va aggiunto che gli spinotti devono essere inseriti sempre « a fondo » nelle boccole. Il perchè è intuitivo: è necessario spesso che essi attuino il contatto (boccole in basso) tra i due elementi della molletta, indipendentemente (dato che i contatti delle mollette sono da essi isolati) dal contatto circuitale che a loro fa capo.

È una rivista a carattere tecnico commerciale che su ognuno dei suoi fascicoli di oltre 100 pagine, tratta — con indirizzo di praticità e accessibilità senza pari — tutti i problemi dell'elettronica.

La Televisione, la tecnica della Bassa Frequenza, con particolare riguardo all'Alta Fedeltà, l'emissione dilettantistica, le misure ed i relativi apparecchi, i transistori, ecc. sono argomenti, praticamente, di ogni numero.

Un'ampia e dettagliata rassegna della produzione nazionale ed estera offre al lettore la possibilità di mantenersi al corrente su ciò che costantemente il mercato presenta di nuovo.

È una rivista ricca di contenuto — ove tutti gli articoli sono accessibili a tutti i lettori — molto illustrata, stampata su ottima carta, razionalmente impaginata.

Ecco perchè RADIO e TELEVISIONE è realmente — da diverso tempo — la rivista del ramo a più alta tiratura in Italia!

Una copia - alle edicole - Lire 300

"RADIO e TELEVISIONE": la più utile - la più interessante - la più aggiornata - una grande rivista.

4 copie gratuite

Il fascicolo dicembre 1960 (N. 96) ora in vendita alle edicole sarà offerto in omaggio unitamente ai tre fascicoli precedenti (o ad altri da indicare) a coloro che invieranno la quota di abbonamento per i 12 Numeri del 1961: . . . Lire 3060.

Sconto 10 % agli abbonati al "Corso di Radiotecnica": . . Lire 2754.

TESTER ANALIZZATORE Mod. 60 "I.C.E."

BREVETTATO - **Sensibilità c. c. e c. a. = 5.000 ohm per volt**

Il Tester più semplice e più pratico.
Il Tester meno ingombrante con la più ampia scala di lettura.
Il Tester per tutti i radiotecnici ed elettrotecnici.
Il Tester senza commutatori e quindi il più stabile ed il più preciso.
Il Tester con strumento antiurto montato su sospensioni elastiche.
Il Tester dalle innumerevoli prestazioni.
Il Tester più preciso al prezzo più basso, data l'altissima produzione.

CARATTERISTICHE TECNICHE

Scatola base in speciale materiale plastico infrangibile - Pannello interamente in Cristal antiurto, che permette di sfruttare al massimo l'ampiezza del quadrante di lettura ed elimina completamente le ombre sul quadrante stesso. Eliminazione totale quindi, del vetro, sempre soggetto a facilissime rotture e scheggiature e della relativa cornice in bachelite opaca - Una sola scala per tutte le misure voltmetriche in c.a.; una sola scala per tutte le misure in c.c.; una sola scala per tutte le portate ohmetriche.

I. C. E.

INDUSTRIA COSTRUZIONI ELETTROMECCANICHE

VIA RUTILIA, 19/18 - Tel. 531.554/5/6 - MILANO

22 PORTATE DIFFERENTI !

4 portate milliamperometriche in c.c.:
1 - 10 - 100 e 1000 mA.

4 portate voltmetriche in c. a.:
10 - 50 - 250 e 1000 volt.

4 portate voltmetriche in c. c.:
10 - 50 - 250 e 1000 volt.

4 portate per misure d'uscita:
10 - 50 - 250 e 1000 volt per tutte le frequenze acustiche

3 portate per misure in dB:
da −10 dB a +50 dB.

3 portate ohmetriche:
ohm × 1 = da 0 a 20.000 ohm;
ohm × 10 = da 0 a 200.000 ohm;
ohm × 100 = da 0 a 2 Megaohm.

Misure d'ingombro:
mm 126 x 85 x 28, Extrapiatto !
Peso grammi 280.

A titolo di propaganda si accettano prenotazioni alle seguenti condizioni: (prezzo netto di qualsiasi sconto franco ns. stabilimento) scatola di montaggio come descritta nel presente fascicolo L. 5.950 -

Astuccio per detto, in resinpelle speciale, antiurto ed antimacchia L. 400 -

Tester già montato e completo di astuccio . . . L. 6.950.

——— - Eventuale puntale supplementare per misure di alta tensione fino a 25.000 volt (esempio, per misure di alta tensione su televisori) L. 2.980.

Volendo estendere le portate del suddetto Tester mod. 60 anche per le misure amperometriche in c.a. di: 250 mA; 1 A.; 5 A.; 25 A.; 50 A.; 100 A.; richiedere il trasformatore di corrente mod. 618, del costo di sole L. 3.980.

corso di RADIOTECNICA

pubblicazione settimanale 3 - 10 dicembre 1960 - un fascicolo lire 150 10° numero

corso di
RADIOTECNICA

settimanale a carattere culturale

Direzione, Amministrazione, Pubblicità:
Via dei Pellegrini 8/4 - Telef. 593.478
MILANO

Ogni fascicolo — contenente 3 lezioni — costa lire 150, acquistato alle edicole.

Se l'edicola risulta sprovvista, o si teme di rimanere privi di qualche numero, si chieda invio settimanale direttamente al proprio domicilio a mezzo abbonamento.

Il versamento per ricevere i 52 fascicoli costituenti l'intero Corso è di lire 6500 + I.G.E. = lire 6630. A mezzo vaglia postale, assegno bancario, o versamento sul conto corr. postale 3/41.203 del « Corso di RADIOTECNICA » - Via dei Pellegrini 8-4 - Milano. In ogni caso, scrivere in modo molto chiaro e completo il proprio indirizzo.

L'abbonamento può essere effettuato in qualsiasi momento; si intende comprensivo delle lezioni pubblicate e dà diritto a ricevere tali lezioni, che saranno inviate con unica spedizione.

Estero: abbonamento al Corso, Lit. 8.500. ($ 15). Numeri singoli Lit. 300 ($ 0,50).

Per i cambi di indirizzo durante lo svolgimento del Corso, unire lire 100, citando sempre il vecchio indirizzo.

Fascicoli singoli arretrati — se disponibili — possono essere ordinati a lire 300 cadauno.

Non si spedisce contrassegno.

Distribuzione alle edicole di tutta Italia: Diffus. Milanese . Via Soperga, 57 - Milano.

Direttore responsabile: Giulio Borgogno.

Autorizzaz. N. 5357 - Tribunale di Milano.

Stampa: Intergrafica S.r.l. - Cologno Monzese.

La Direzione non rivende materiale radio; essa può comunicare, se richiesta, indirizzi di Fabbricanti, Importatori, Grossisti ecc. in grado di fornire il necessario ed ai quali il lettore può rivolgersi direttamente.

Alla corrispondenza con richiesta di informazioni ecc. si prega allegare sempre il **francobollo per la risposta.**

Parte del testo e delle illustrazioni è dovuta alla collaborazione del Bureau of Naval Personnel, nonchè al Dept. of the Army and the Air Force - U.S.A.

A chi può essere utile questo Corso? Anzitutto — stante la sua impostazione — il Corso, basato sull'esposizione in forma a tutti accessibile, della radiotecnica, dai suoi elementi basilari alla evoluzione più recente, rappresenta la forma ideale per tutti coloro che intendono dedicarsi all'elettronica, sia come forma ricreativa sia — soprattutto — per l'acquisizione di una professione specializzata che possa procurare loro una posizione di privilegio in seno alla società odierna.

Anno per anno, la nostra civiltà si indirizza sempre più verso questa meravigliosa, si potrebbe dire fascinosa, elettronica, che nel modo più evidente consente sviluppi impensati, progressi grandiosi e una rapida evoluzione di tutti gli altri rami dello scibile che essa tocca e influenza.

L'industria, tutta l'industria, nel senso più ampio, da quella elettrotecnica a quella meccanica, alla metallurgica, alla chimica ecc., con i suoi laboratori di ricerca e le sue fabbriche richiede, e richiederà sempre più, con un ritmo rapidamente crescente, tecnici specializzati con conoscenza dell'elettronica, tecnici specificatamente elettronici e persino operai e impiegati di ogni ordine e categoria con cognizioni di elettronica.

Si può dire che anche le branche commerciali, quelle dei trasporti e persino quelle amministrative con le recenti introduzioni delle calcolatrici, abbisognano di personale che conosca i principi dell'elettronica, le macchine relative, il loro pieno sfruttamento, la eventuale riparazione ecc. e, quanto più in modo completo, quanto meglio.

Nasce, da una tale situazione, una logica conseguenza: per la scelta di una professione o di un mestiere, per un miglioramento della propria posizione sociale, per l'intrapresa di una libera attività o anche per la sola acquisizione di cognizioni che indubbiamente verranno oltremodo utili, è quanto mai opportuno riflettere se non sia conveniente dedicare un po' di tempo allo studio di questa scienza che ha tra l'altro il pregio di rendersi immediatamente attraente, concreta, accessibile e foriera di moltissime soddisfazioni.

A questo scopo appunto, e con questi intenti, è stato redatto questo Corso.

Non mancano invero altri corsi (specie per corrispondenza) o scuole di radiotecnica, nè mancano (sebbene siano in numero del tutto inadeguato) scuole statali o pareggiate ma la struttura e l'impostazione che caratterizzano queste 156 lezioni sono alquanto particolari, presentando non pochi vantaggi sulle diverse altre forme di cui si è detto.

Anzitutto vogliamo porre in evidenza **il fattore economico.**

Frequentare regolarmente, durante tutto l'anno, una scuola è certo il modo più logico — anche se non il più rapido — per apprendere ma, tralasciando il fatto che rarissimi sono gli Istituti di radiotecnica, è a tutti possibile dedicarsi esclusivamente, e per l'intero anno, allo studio? Noi riteniamo che chi può farlo costituisca oggi assai più l'eccezione che la regola. Ciò significa infatti poter disporre liberamente del proprio tempo senza avere la necessità di un contemporaneo guadagno: il nostro Corso permette a chiunque di studiare a casa propria, nelle ore libere dal lavoro, senza abbandonare o trascurare quest'ultimo. Ciò caratterizza invero anche altri corsi, ma il vantaggio economico diviene notevole ed evidentissimo se si considera che di fronte all'esborso, anche se rateale, di quasi 80.000 lire che i corsi per corrispondenza richiedono, seguendo il nostro Corso la spesa in un anno risulta di poco più di 7500 lire (150 lire alla settimana presso un'edicola) o di 6630 lire totali, con recapito postale, settimanale, delle lezioni a domicilio.

E' superfluo dire che la Modulazione di Frequenza, i transistori, i circuiti stampati, la trasmissione, il telecomando ecc. sono argomenti integrali del Corso e non costituiscono motivo di corsi speciali, aggiunti o particolari.

Le lezioni di questo Corso — a differenza di molte altre — non sono stampate con sistemi di dispensa, a ciclostile, o con sistemi più o meno analoghi, derivanti cioè da un originale battuto a macchina da scrivere; esse sono stampate in uno stabilimento grafico, con chiari caratteri tipografici da cui deriva una assai più agevole lettura e — fattore certamente di non secondaria importanza — un contenuto molto più ampio, corrispondendo una pagina a stampa a tre o quattro pagine di quelle citate. Il lettore avrà, alla fine del Corso, un volume di ben 1248 pagine di grande formato!

Chiunque, indipendentemente dall'età, dalla professione e dalle scuole compiute **può seguire il Corso.** Alle esposizioni teoriche si abbinano numerose, attraenti, istruttive ed utili descrizioni che consentono la realizzazione di ricevitori, amplificatori, strumenti vari e persino di trasmittenti su onde corte.

A questo proposito è sintomatico il fatto che la Direzione non vuole assolutamente assumere la fisionomia di un fornitore o commerciante di materiale radio, rivendendo agli allievi le parti necessarie. Il materiale occorrente l'interessato può acquistarlo dove e come meglio crede e, assai spesso anzi, già ne dispone. Viene così evitato l'acquisto forzoso, caratteristico più o meno di tutti gli altri corsi.

Anche chi è già radiotecnico, anche chi ha seguito o segue altri corsi troverà il massimo tornaconto in questo completo ed aggiornato lavoro. Molte nozioni, è logico, saranno note, altre un po' meno e sarà utile rinfrescarle, e il tutto infine costituirà un manuale di consultazione, prezioso tanto per la teoria esposta quanto per i numerosi schemi, per le tabelle, per i grafici, gli elenchi, i dati, il vocabolario dei termini ecc.

Concludendo, si può affermare che questo **Corso di Radiotecnica** oltre che come insegnamento graduale si presenta come **enciclopedia e rivista assieme** ciò che permette di formare — con modestissima spesa — **il più completo, ricco, utile e pratico volume di radiotecnica di cui sia dato oggigiorno disporre.**

INDUTTANZA

Il termine « induttanza » non è nuovo al lettore. In effetti abbiamo già visto alle lezioni 7ª e 8ª cosa sia l'induttanza, quali fenomeni siano ad essa connessi e come tali fenomeni vengano sfruttati per la realizzazione di circuiti risonanti; infine, chi si è cimentato nella costruzione dei ricevitori a cristallo descritti, ha addirittura effettuata la costruzione di una o due bobine di induttanza.

Sulla base degli elementi già noti possiamo ora, in un primo tempo, riassumere i concetti fondamentali e, successivamente, inoltrarci in un più dettagliato esame delle particolarità, delle leggi, di più complessi fenomeni, delle misure, e di tutto ciò che ai fini della materia del nostro Corso occorre conoscere sull'argomento.

Sappiamo dunque che *un'induttanza è un elemento di circuito che si oppone alle variazioni della corrente;* la sua opposizione non è paragonabile a quella offerta da una resistenza in quanto non viene esercitata sulla corrente direttamente, bensì **sulle sue variazioni.** Infatti l'induttanza tende ad impedire che la corrente aumenti o diminuisca; la sua influenza si manifesta perciò come una specie di inerzia.

Quando si aumenta la velocità di una vettura, la sua inerzia si oppone all'aumento di velocità, ed analogamente la forza viva della vettura in moto tende a mantenerla in tale stato quando si esercita un'azione frenante. Un fenomeno analogo si verifica appunto con l'induttanza, la quale tende ad impedire il prodursi di una corrente quando viene applicata una f.e.m., e viceversa immagazzina tale energia e la restituisce al circuito per conservare la corrente prodottasi, non appena viene a mancare l'energia della sorgente.

Dato che un'induttanza reagisce soltanto alle *variazioni* di corrente, essa reagisce evidentemente soltanto alla corrente alternata o alla corrente continua pulsante, e non alla corrente continua costante. La reazione stessa varia inoltre col variare della frequenza.

L'opposizione che l'induttanza offre alla corrente si chiama *reattanza induttiva*, e viene misurata in ohm. In una ipotetica induttanza pura — ossia priva di resistenza interna — la reattanza induttiva fa in modo che la corrente ritardi di un quarto di ciclo — ossia di 90° — rispetto alla tensione, ma in realtà un simile tipo di induttanza non può essere realizzato in quanto qualsiasi conduttore ha sempre una sua resistenza.

Le induttanze hanno varie forme, ma tutte sono fondamentalmente degli avvolgimenti di filo. L'unità di misura dell'induttanza è l'Henry. Il valore di induttanza di una bobina aumenta con l'aumentare del diametro dell'avvolgimento o del numero delle spire. Sappiamo già che l'uso di un metallo magnetico (come ad esempio il ferro), come anima di una bobina, ne aumenta l'induttanza, per cui il valore di un indotto può variare semplicemente spostando un nucleo metallico rispetto al centro dell'avvolgimento.

La reattanza induttiva è direttamente proporzionale alla induttanza, ossia se aumenta la seconda, aumenta contemporaneamente anche la prima, e viceversa.

Le induttanze vengono usate sia nei ricevitori che nei trasmettitori. Alcune tra quelle usate nei trasmettitori devono essere di grandi dimensioni in quanto devono sopportare correnti e tensioni rilevanti.

In **figura 1** è visibile una tipica induttanza per trasmettitore; essa consiste in un semplice avvolgimento di filo (o per meglio dire di tubetto, e vedremo più avanti il perché) di grosso diametro. L'aspetto delle bobine di ricezione ci è oramai noto.

Alcune bobine vengono costruite con un nucleo mobile, in modo che l'induttanza possa essere variata semplicemente introducendo o estraendo quest'ultimo; tali tipi vengono denominati induttanze *a permeabilità variabile*. Un tempo, simili induttanze furono usate in alcuni radio ricevitori domestici per la sintonia sulle varie stazioni emittenti. Altri tipi di bobine possono variare la propria induttanza mediante il collegamento di varie prese praticate sull'avvolgimento; un tipo del genere è appunto quello adottato nel nostro ricevitore descritto alla lezione 9ª; questo sistema viene però usato principalmente nei trasmettitori.

Una bobina di filtro (*impedenza*), è un induttore le cui proprietà sono di offrire, di proposito, la massima resistenza alla corrente alternata, e la minima alla corrente continua. Quindi tale tipo di induttanza adottato ove ciò sia necessario, lascia passare facilmente la c.c., mentre blocca la corrente alternata.

La **figura 2** mostra un tipo di induttanza con nucleo ad « aria » (il supporto è in ceramica ma ai fini della permeabilità è pari all'aria), usato per impedire il passaggio della corrente alternata a radiofrequenza.

Grosse impedenze a nucleo di ferro vengono usate nei

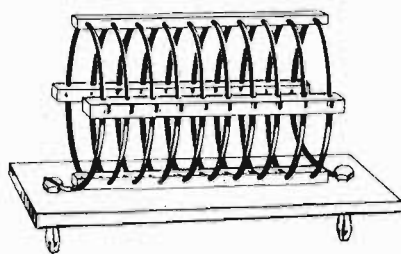



Fig. 1 — Induttanza tipica per trasmissione su onde corte. Anzichè in filo di rame viene spesso costruita con tubetto di rame, argentato: a pagina 225 è detto del motivo di ciò. La basetta munita di spinotti la rende intercambiabile.

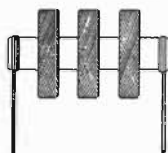



Fig. 2 — Un altro tipo di induttanza particolare è l'impedenza per Alta Frequenza. Gli avvolgimenti, suddivisi a gruppi, sono avvolti a macchina e sono detti a « nido d'ape ».

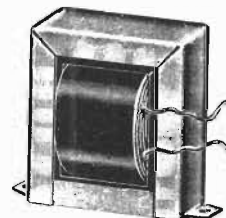



Fig. 3 — La funzione di impedenza che compie l'induttanza della figura a fianco viene svolta da un'« impedenza » di questo tipo allorchè si tratta di Bassa Frequenza. Occorre un nucleo di materiale magnetico.

circuiti ad audio-frequenza, oppure come filtri nei circuiti di alimentazione per livellare le variazioni residue della corrente pulsante: un esempio è visibile in **figura 3.**

Ricorderemo in ultimo che, quando una induttanza è percorsa da corrente alternata, si produce intorno ad essa un campo magnetico, e se si pone vicino alla prima una seconda bobina, detto campo magnetico variabile si allaccia a quest'ultima, e vi induce una tensione alternata. Questo è il principio del trasformatore, che studieremo più avanti, ma è un fenomeno a noi già noto, che abbiamo visto applicato nei ricevitori per il trasferimento delle correnti a radiofrequenza da un circuito all'altro (ad esempio dal circuito d'antenna al circuito accordato di sintonia, ecc.).

AUTOINDUTTANZA

Quando la corrente che scorre nel circuito di **figura 4-A** subisce delle variazioni, varia contemporaneamente il campo magnetico che circonda il conduttore costituente L; tali variazioni influenzano la bobina stessa in quanto viene indotta in essa una f.e.m. opposta, la quale — ricordiamo — si oppone alle variazioni della corrente originale che ne è stata causa.

Studiamo ora l'effetto dell'induttore L della figura 4-A.

Quando il commutatore si trova in posizione *1*, il circuito consiste in una batteria, una bobina ed una resistenza in serie. Allorchè tale circuito viene chiuso, ossia portato appunto in posizione *1*, la corrente inizia a scorrere in esso. Contemporaneamente sorge il campo magnetico intorno all'induttore, inducendovi una f.e.m. opposta la quale contrasta la tensione applicata e quindi l'aumento di corrente; di conseguenza, quest'ultima, a causa dell'opposizione, raggiunge il suo valore massimo non immediatamente, bensì gradatamente, come si vede dalla curva della figura **4-B.**

Se il commutatore viene portato in posizione *2*, la corrente comincia a diminuire. L'azione di cui sopra si verifica in senso opposto, in quanto il campo magnetico diminuisce, col risultato che la tensione indotta si oppone alla diminuzione della corrente, ossia la f.e.m. indotta è nella medesima direzione del potenziale applicato precedentemente, e tende a conservare il passaggio di corrente. Per questo motivo la corrente non scende immediatamente a zero ma diminuisce in maniera esponenziale in quanto la f.e.m. indotta, o tensione di autoinduttanza, continua a provocare corrente.

L'ammontare della f.e.m. indotta è proporzionale all'ammontare delle variazioni di corrente.

L'induttanza L di un componente dipende dalle dimensioni e dalla forma dello stesso. Un conduttore diritto ha praticamente solo resistenza, ma se è avvolto intorno ad un nucleo ferroso, esso acquista in aggiunta, una apprezzabile induttanza. Tale induttanza è indipendente dalla corrente (quando il nucleo è antimagnetico), e può essere determinata sia in base alle dimensioni del componente, sia in base alla permeabilità — ossia all'attitudine a condurre il flusso magnetico — del nucleo stesso.

L'equazione dell'induttanza relativa ad un induttore avvolto per un lungo tratto su un nucleo ferroso, con unico strato, è la seguente:

$$L = \frac{K\mu S N^2}{10^8 l}$$

nella quale K è eguale a 4,44 (quando S è espressa in cm^2 ed l in centimetri); μ (Mu) è la permeabilità del circuito magnetico, S la superficie della sezione trasversale del nucleo, N il numero delle spire avvolte, ed l la lunghezza della bobina.

Da questa equazione si nota che l'induttanza varia direttamente col variare della permeabilità, della superficie della sezione trasversale, del quadrato del numero di spire, ed inversamente col variare della lunghezza della bobina.

L'inerzia di un corpo solido che già abbiamo presa in esame (auto in movimento) rappresenta una delle analogie più significative ed evidenti con l'induttanza, in quanto, tutti sanno che, accelerando il movimento del corpo, la sua inerzia (che corrisponde alla induttanza) si oppone all'accelerazione stessa, esattamente come l'induttanza si oppone all'aumento della corrente; se si tenta di fermare di colpo il corpo in movimento, la sua inerzia tende a mantenere il movimento, nè più nè meno come l'induttanza fa continuare il passaggio di corrente dopo il distacco della batteria.

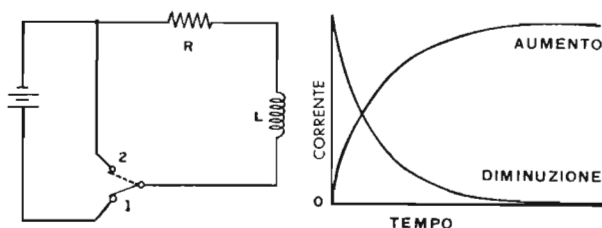



Fig. 4 — Se si chiude il circuito sulla batteria (commutatore in posizione 1) il campo magnetico che si crea in « L » induce una forza elettromotrice opposta che contrasta l'aumento della tensione. La corrente, perciò, non raggiunge il suo massimo valore immediatamente ma secondo l'andamento della curva « AUMENTO ». Aprendo il circuito (posizione 2) il fenomeno inverso fa diminuire la corrente secondo la curva « DIMINUZIONE ».

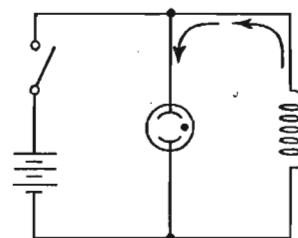



Fig. 5 — La restituzione di energia effettuata dall'induttanza allorchè il circuito viene aperto, provoca l'accensione della lampadina che a circuito chiuso non si illumina per una troppo bassa tensione.

COSTANTE di TEMPO

L'ammontare dell'aumento di corrente nel circuito induttivo della figura 4-A dipende dal rapporto $L:R$ in cui L è l'induttanza, ed R la resistenza. Se L è grande ed R è piccola, la corrente aumenta lentamente, e viceversa. Tale rapporto viene denominato **costante di tempo,** e corrisponde al tempo in secondi necessario affinchè la corrente raggiunga il 63,2 per cento del suo valore massimo. L'equazione è:

$$T = \frac{L}{R}$$

nella quale T è il tempo in minuti secondi, L l'induttanza in henry, ed R la resistenza in ohm. Poichè qualsiasi bobina ha una sua resistenza alla c.c., **la costante di tempo equivale alla induttanza divisa per la resistenza in ohm.**

Facciamo un esempio: se una bobina ha una induttanza di 15 henry ed una resistenza di 50 ohm, quale è la sua costante di tempo?

La costante di tempo è:

$$T = \frac{L}{R} = \frac{15}{50} = 0{,}3 \text{ secondi}$$

Se nel circuito non vi sono altre resistenze — e se si applica per esempio un potenziale di 25 volt — il valore massimo della corrente, determinato con la legge di ohm, è il seguente:

$$I = \frac{25}{50} = 0{,}5 \text{ A (500 mA)}$$

per cui, dopo il tempo di 0,3 secondi la corrente sale da zero al 63,2 per cento di 500 mA, ossia a 316 milliampère.

UNITA' di INDUTTANZA

L'induttanza di una bobina dipende dalle sue caratteristiche costruttive — esattamente come l'inerzia di un corpo solido dipende dal suo peso — ed è determinata dal numero delle spire, dalla loro reciproca distanza, e dal tipo di nucleo.

Se le spire sono molto vicine tra loro, ognuna di esse può allacciare il suo campo magnetico a quello di molte altre; l'induttanza di conseguenza, è maggiore di quella di un egual numero di spire però distanziate tra loro.

L'induttanza viene espressa in **henry,** in onore di Giuseppe Henry, scopritore del fenomeno dell'induttanza elettromagnetica. Si è convenuto che **un circuito ha l'induttanza di 1 henry quando una variazione di corrente di 1 ampère causa una induzione di f.e.m. opposta nel circuito, di 1 volt.**

Poichè però un henry è una unità di induttanza elevata per molti correnti impieghi nel campo delle radiofrequenze, i tecnici elettronici usano spesso delle unità più piccole, come ad esempio il **millihenry** (pari ad un millesimo di henry), ed il **microhenry** (pari ad un milionesimo di henry).

I valori di induttanza usati nei circuiti elettronici variano però notevolmente. I filtri di alimentazione, ad esempio, richiedono induttanze di molti henry, per ottenere i quali si usano bobine con molte spire avvolte su nuclei di ferro.

La bobine per le radio-frequenze invece sono del tipo con nucleo ad aria, ed hanno appunto, come si è detto, valori di millihenry e di microhenry.

Possiamo infine affermare chè l'induttanza è una proprietà fisica delle bobine — come la resistenza lo è per i resistori — per cui una bobina è dotata di induttanza a seconda che la corrente la percorra o meno, e purchè sia in grado di immagazzinare energia sotto forma di campo magnetico.

L'ENERGIA ed il CAMPO MAGNETICO

Sappiamo che quando la corrente aumenta nell'avvolgimento nonostante la f.e.m. opposta dovuta all'autoinduzione, esso preleva energia dalla batteria e la immagazzina nel suo campo magnetico; sappiamo pure che non appena il circuito viene aperto, il potenziale indotto ha la medesima direzione della tensione originale applicata, ossia il campo magnetico stesso restituisce l'energia al circuito allo scopo di mantenere la corrente — quando quest'ultimo è aperto — nella medesima direzione.

Consideriamo ora il circuito della **figura 5.** Quando il

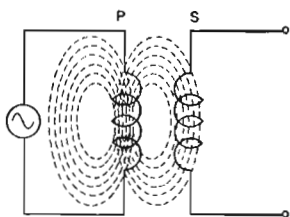



Fig. 6 A — In un trasformatore con nucleo ad aria, se la frequenza della corrente è bassa, solo una parte del flusso influenza il secondario: il resto è « flusso disperso ».

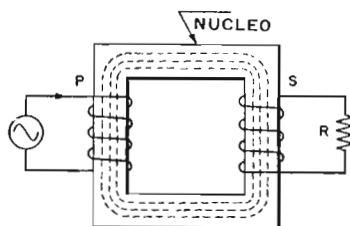



Fig. 6 B — Se si impiega un nucleo ferroso le linee magnetiche restano nel nucleo e influenzano quasi tutte il secondario: evidentemente, il rendimento del trasformatore ne è accresciuto.

commutatore è chiuso, la corrente scorre attraverso la bobina, ma poniamo che la tensione sia troppo bassa per accendere la lampada. Se si attua un tale circuito si può notare, tuttavia, che la lampada si illumina intensamente nell'istante in cui il circuito viene aperto, il che indica che la rapida scomparsa del campo magnetico restituisce l'energia elettrica che era stata usata per crearlo.

Vedremo in seguito che quando una corrente sinusoidale attraversa un circuito costituito da induttanza pura, tutta la potenza assorbita da quest'ultima in una parte del ciclo di c.a. viene restituita durante la seconda parte del ciclo stesso, ed in tal modo il consumo medio di potenza è zero.

La f.e.m. opposta, o tensione di autoinduzione, dipende:

1) dalla induttanza della bobina;
2) dall'ammontare della variazione di corrente che essa subisce.

Si può perciò generare una altissima tensione provocando rapide variazioni di corrente in un circuito con notevole induttanza.

Nei comuni televisori si sfrutta appunto questo fenomeno, unitamente ad un andamento della f.e.m. particolare, per generare una tensione molto alta (oltre 15.000 volt) che è ivi necessaria.

INDUTTANZE in SERIE ed in PARALLELO

Quando più induttanze (L_1, L_2 ed L_3) sono collegate in serie, l'induttanza totale, L_T, è data dalla somma delle induttanze individuali. Le singole induttanze si sommano in quanto ognuna per conto suo sempre si oppone alle variazioni della corrente che scorre nel circuito. In altre parole, l'induttanza totale viene calcolata esattamente così come si procede per il valore di resistenze in serie:

$$L_T = L_1 + L_2 + L_3$$

Tuttavia, occorre avvertire che ciò corrisponde alla realtà soltanto nel caso in cui i singoli induttori siano sistemati in maniera tale che il campo magnetico di uno non si allacci a quello di un altro. Vedremo più avanti che, nel caso in cui esista un accoppiamento induttivo è necessario tenere in considerazione il fattore M di mutua induzione.

Le induttanze in parallelo — semprechè anche in questo caso non vi sia il citato accoppiamento induttivo — vengono anch'esse computate come le resistenze. Essendo in parallelo si ha:

$$\frac{1}{L_T} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}$$

Induttanze in serie vengono a volte usate nei circuiti di antenna dei trasmettitori e dei ricevitori: esse sono spesso regolabili, a mezzo prese intermedie, allo scopo di aumentare o di diminuire l'induttanza totale in serie con l'antenna. In tal modo quest'ultima può essere sintonizzata sulle varie frequenze impiegate. Tali tipi di bobine vengono denominate *bobine di carico*.

INDUTTANZA MUTUA

Sappiamo già che è possibile indurre in un circuito una tensione ed una corrente muovendo un magnete permanente o calamita in modo tale che il campo magnetico mobile tagli il circuito stesso; vediamo ora come si produce in altro modo un campo magnetico mobile.

Se facciamo passare una c.a. in una bobina, il campo magnetico che la circonda continua ad espandersi o a contrarsi, seguendo le variazioni di ampiezza della tensione e di intensità della corrente. Questo è appunto un campo magnetico mobile. Quando due bobine vengono poste vicine tra loro, in modo tale che il campo magnetico di una sia allacciato dalle spire dell'altra, esse sono accoppiate induttivamente; se una corrente alternata attraversa una delle due, il suo campo magnetico variabile taglia le spire dell'altra, inducendovi una tensione. Tale fenomeno esprime il principio a noi già noto, anche se in modo sommario, del **trasformatore.**

La bobina che produce il primo campo magnetico è ciò che noi conosciamo col nome di **primario,** e quella in cui la tensione viene indotta è, come sappiamo pure, il **secondario.** Entrambe le bobine infine, accoppiate mutualmente l'una all'altra, costituiscono un trasformatore. L'avvolgimento secondario può avere il medesimo numero di spire del primario (rapporto 1:1), un numero maggiore (rapporto in salita) o un numero minore (rapporto in discesa).

Come si può vedere nella **figura 6-A,** in un trasforma-

A

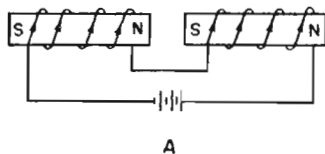



Fig. 7 A — Collegando due bobine in serie e accoppiandole in modo che il flusso risulti nel medesimo senso, l'induttanza totale viene ad essere la somma delle due induttanze, più due volte il fattore di induttanza mutua « M ». La disposizione è detta « collegamento favorevole in serie ».

B

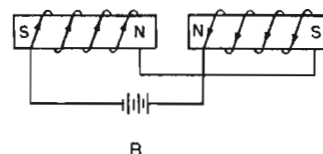



Fig. 7 B — Se le bobine poste in serie ed accoppiate sono collegate in maniera che il flusso risulti in senso opposto, l'induttanza totale è pari alla somma delle induttanze singole meno due volte il fattore di induttanza mutua « M ». Il collegamento è detto « collegamento sfavorevole in serie ».

tore con nucleo ad aria la parte di flusso che si allaccia all'avvolgimento secondario è solo una parte di quello generato dal primario. Quella parte di linee di flusso che non influenza le spire del secondario costituisce il *flusso disperso*, il quale, non inducendo alcuna tensione nel secondario stesso, deve essere contenuto nel minimo possibile. Tale risultato si può ottenere avvolgendo le due bobine su di un nucleo ferroso (figura **6-B**). In tale tipo di trasformatore le linee magnetiche restano nel nucleo, e quasi tutte influenzano il secondario; ciò è dovuto al fatto che il ferro dolce ha una permeabilità maggiore dell'aria, ossia la sua resistenza alle linee del flusso è molto minore di quella offerta dall'aria.

Per questo motivo inoltre, una bobina con nucleo di materiale magnetico presenta una induttanza molto più elevata di una bobina eguale ma con nucleo ad aria.

Calcolo dell'induttanza mutua

La tensione indotta nel secondario di un trasformatore quando una data c.a. scorre nel primario, dipende da tre fattori: la posizione relativa delle bobine, il rispettivo numero di spire e la distanza tra le bobine stesse.

Tutti questi fattori determinano *l'induttanza mutua M* del circuito, **la quale è una misura dell'ammontare della tensione indotta nel secondario, per una data variazione di corrente nel primario.**

Se tutto il flusso di una bobina taglia le spire dell'altra, l'induttanza mutua raggiunge il suo massimo valore e le bobine sono dette strettamente accoppiate o ad *accoppiamento stretto*, se invece il flusso utile è solo una parte, l'induttanza mutua è minima e le bobine sono dette ad *accoppiamento lasco*.

L'induttanza mutua — come l'autoinduttanza — viene misurata in henry. **Quando una variazione di 1 ampère al secondo in un circuito induce una tensione di 1 volt in un altro, l'induttanza mutua tra i due circuiti è di 1 henry.** Il rapporto tra l'induttanza effettiva e quella massima che è possibile ottenere con i due avvolgimenti si chiama *coefficiente di accoppiamento k*. Di conseguenza quando k è $= 1$, le bobine hanno il massimo di induzione mutua.

L'induttanza mutua di due bobine può essere espressa in funzione delle induttanze individuali e del coefficiente di accoppiamento:

$$M = k\sqrt{L_1 \times L_2}$$

Ad esempio, l'induttanza mutua di due bobine aventi entrambe una induttanza di 10 henry, con un coefficiente di accoppiamento di 0,8, è:

$M = k\sqrt{L_1 L_2}$ ossia $M = 0{,}8\ (10)$ da cui: $M = 8$

Induttanza mutua di bobine in serie

Se due bobine sono collegate in serie senza che vi sia accoppiamento tra loro, la induttanza totale è eguale alla somma delle induttanze; tuttavia, se l'accoppiamento esiste, l'induttanza totale aumenta o diminuisce in quanto l'induzione mutua può sommarsi o sottrarsi all'autoinduttanza di entrambe.

Se due induttanze con induzione mutua sono collegate in serie in modo che i due campi magnetici risultino nel medesimo senso, si ha:

$$L_t = L_1 + L_2 + 2M$$

Tale sistemazione delle bobine si chiama *collegamento favorevole in serie* (**figura 7-A**). L'induttanza totale è costituita da **1**): l'autoinduttanza delle bobine 1 e 2, e da **2**): dalla mutua induttanza creata dal fatto che il campo della bobina 1 taglia la bobina 2, nonchè dalla mutua induttanza dovuta al fatto che il campo della bobina 2 taglia la bobina 1.

Se invece le due bobine sono collegate in serie in modo che le correnti scorrano in senso opposto, i campi magnetici si oppongono analogamente, e l'induttanza totale L_t sarà data da:

$$L_t = L_1 + L_2 - 2M$$

Tale sistemazione delle bobine si chiama *collegamento sfavorevole in serie* (**figura 7-B**).

INDUTTANZA e CORRENTE ALTERNATA

Sappiamo che l'autoinduttanza di una bobina si oppone a qualsiasi variazione della corrente che la percorre. Appena l'interruttore del circuito di figura 4-A viene chiuso, la corrente non raggiunge immediatamente il suo valore massimo, nè scende immediatamente a zero appena viene aperto: si dice quindi che **in un circuito induttivo**, la corrente segue la tensione con un certo ri-

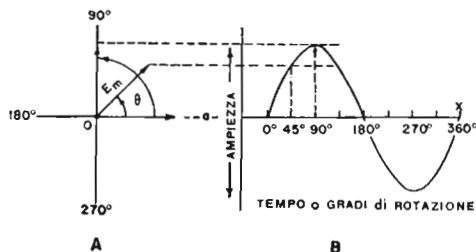



Fig. 8 — Rappresentazione vettoriale (in A) e con curva sinusoidale (in B) della corrente alternata. In A è raffigurato il vettore rotante solo durante il primo quarto di periodo.

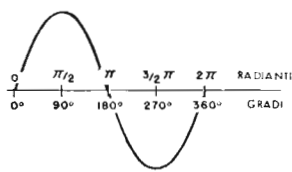



Fig. 9 — L'onda sinusoidale può essere espressa in « gradi » oppure in « radianti » (360° o 2π radianti, per un intero ciclo).

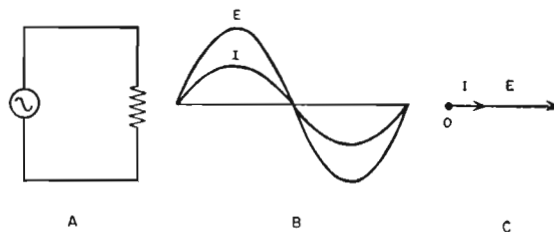



Fig. 10 — In un circuito con sola e pura resistenza (figura A), la tensione « E » e la corrente « I » sono sempre in fase (figura B). Anche il diagramma vettoriale (figura C) mostra tale situazione: i bracci di tensione e corrente sono, come si vede, in fase, vale a dire aumentano e diminuiscono contemporaneamente

tardo ossia **la tensione precede la corrente.**

Poichè tensione e corrente non sono al massimo valore contemporaneamente, si dice che sono **sfasate.** Prima di procedere oltre, è necessario rivedere quanto è stato detto a proposito della generazione di corrente alternata, della differenza di fase, del comportamento dimensionale delle tensioni e delle correnti.

La corrente alternata

La tensione (o la corrente) alternata — come ben sappiamo — inverte la propria direzione periodicamente, ossia parte da zero in una direzione, raggiunge il massimo valore positivo, ricade a zero e ripete il ciclo in senso negativo. Tale sequenza può essere compresa meglio, osservando la **figura 8.** La tensione alternata è rappresentata dalla linea sinusoidale per il tempo di 1 ciclo (360°), ed è indicata anche dal vettore *Em* sul diagramma vettoriale (figura 8-**A**).

Sappiamo che un vettore (vedi lezione 24ª) indica una quantità che, oltre ad avere una dimensione, ha anche una direzione, e che la lunghezza del vettore stesso indica la massima ampiezza della tensione. Se si fa ruotare il vettore con velocità costante per 360° in senso antiorario, la sua proiezione sull'asse verticale rappresenta i valori istantanei della tensione.

L'angolo presente tra il raggio orizzontale *Oa* ed il vettore rotante *Em* si chiama *angolo di fase*. Esso viene rappresentato dalla lettera greca θ. La proiezione del vettore sull'asse verticale — ossia, la lunghezza della perpendicolare tesa tra l'estremità del vettore stesso e l'asse orizzontale del grafico — rappresenta il valore istantaneo *e* della tensione in quel dato istante del ciclo.

Tale tensione istantanea è l'altezza di un triangolo rettangolo di cui il vettore *Em* è l'ipotenusa, e l'asse orizzontale del grafico la base. Perciò il valore istantaneo *e* è eguale a E_{max} volte il seno di θ. Abbiamo quindi:

$$e = E_{max} \text{ sen } \theta$$

La figura 8-A mostra il vettore rotante in tre posizioni durante il primo quarto del periodo. Le linee orizzontali sono tese verso la destra a partire dall'estremità di E_{max}, mentre quelle verticali sono tese verso l'alto a partire dalla scala orizzontale del tempo nella figura 8-**B**.

Se si segnasse in tal modo una linea per ogni grado dell'intero ciclo, e se si collegassero tutti i punti in cui le linee tratteggiate si incontrano, si otterrebbe la curva mostrata in figura 8-B, ossia una curva o onda sinusoidale. Questo è il motivo per cui un'onda sinusoidale può essere rappresentata da un vettore rotante.

È importante notare che un ciclo completo corrisponde ad una rotazione intera del vettore. Pertanto, la frequenza corrisponde alla velocità angolare del vettore stesso.

A volte si vedrà infatti, che la frequenza di un'onda sinusoidale (o la velocità angolare del vettore rotante equivalente) è espressa in radianti al secondo invece che in cicli al secondo o hertz.

Poichè 360° equivalgono a 2 π radianti, si potranno vedere onde sinusoidali espresse in radianti oppure in gradi come in **figura 9.**

REATTANZA INDUTTIVA

Corrente e tensione in fase

In un circuito a c.a. contenente resistenze pure (**figura 10-A**), la tensione e la corrente sono sempre in fase. La forma d'onda di tensione e corrente in fase è illustrata in figura **10-B.** Il diagramma vettoriale (figura **10-C**) mostra che i bracci di tensione e di corrente del vettore rotante sono sempre in fase, ossia aumentano e diminuiscono contemporaneamente e raggiungono insieme i valori di massimo e minimo.

Secondo l'uso, il vettore della corrente viene disegnato orizzontalmente in quanto il suo valore effettivo è costante in tutti i punti del circuito. Per questo motivo esso è usato come vettore di riferimento.

Relazioni di fase nei circuiti induttivi

Dal momento che in un circuito a c.a. la corrente subisce continue variazioni, in un'induttanza essa produce sempre un potenziale indotto che si oppone alle variazioni.

Se si applica ai capi di una bobina una tensione in aumento, la corrente tende ad aumentare; la f.e.m. opposta tende a contrastare tale aumento. Per questo *in una bobina la corrente aumenta dopo l'avvenuto aumento della tensione.*

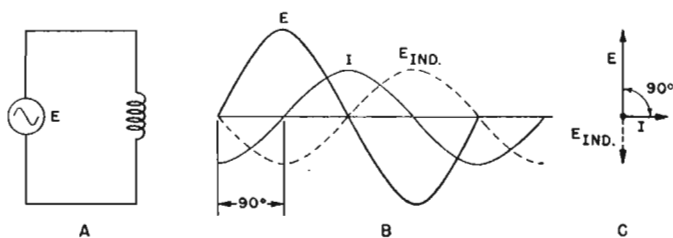



Fig. 11 — In un circuito con induttanza (figura A), la tensione « E » precede la corrente « I » (figura B); se si trattasse di induttanza pura la differenza sarebbe di un quarto di ciclo, ossia 90°. Nel diagramma vettoriale (figura C) è evidente tale sfasamento tra i due bracci. Nella realtà, data la presenza del fattore resistenza, lo sfasamento è sempre inferiore a 90°.

Fig. 12 — In un circuito con resistenza ed induttanza in serie (figura A) si devono sommare vettorialmente la tensione ai capi di R (che è in fase con la corrente) e la tensione ai capi di L (che è sfasata di 90°) per conoscere la tensione risultante « ET » (figura B).

Analogamente, quando la corrente diminuisce, la f.e.m. opposta indotta fa in modo che *la corrente stessa diminuisca in ritardo rispetto alla diminuizione della tensione*.

Da ciò si deduce che, come abbiamo detto nel capitolo precedente, in un circuito induttivo la corrente è in ritardo rispetto alla tensione. Se il circuito contenesse solo induttanza pura (**figura 11-A**), la corrente ritarderebbe in un quarto di ciclo, ossia 90°, rispetto alla tensione, come illustrato dalla figura **11-B.** Notare che la f.e.m. opposta ($E_{indotta}$) si oppone costantemente alla tensione applicata (E).

La corrente che percorre l'induttore non può raggiungere la tensione a causa della f.e.m. opposta. L'ampiezza di quest'ultima dipende dall'ammontare dell'induttanza del circuito e dal ritmo di variazione della corrente.

La figura **11-C**, mostra i vettori E ed I sfasati reciprocamente di 90°. Il vettore E è a 90° ed I è a 0°. (La corrente I, è espressa sull'angolo di riferimento 0° poichè, trattandosi di un circuito in serie, la corrente è eguale in ogni punto). In realtà il circuito della figura 11-A è immaginario poichè ogni induttore ha una certa resistenza che si trova in serie all'induttanza, per cui lo sfasamento tra tensione e corrente è sempre inferiore a 90°. Tuttavia, la figura è utile per esprimere le relazioni di fase in un circuito induttivo teoricamente puro, ossia privo di resistenza.

L'opposizione offerta da un avvolgimento al passaggio di corrente alternata si chiama **reattanza induttiva** X_l. Come la resistenza, viene misurata in ohm.

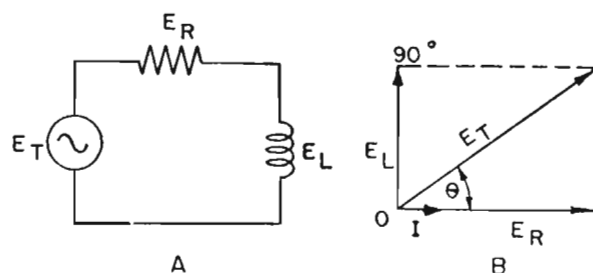
La corrente che scorre nel circuito della figura 11-A può essere determinata dalla equazione:

$$I = \frac{E}{X_l}$$

Si noti che tale equazione è analoga a quella della legge di ohm, ad eccezione del fatto che in luogo della resistenza si usa la reattanza.

L'ammontare della reattanza induttiva è proporzionale sia all'induttanza dell'avvolgimento, sia alla frequenza della corrente. L'equazione matematica che lo esprime è:

$$X_l = 2\pi F L = \omega L$$

nella quale F è la frequenza in hertz, L l'induttanza in henry, e ω la lettera greca usata come simbolo per indicare il fattore $2\pi F$.

La reattanza aumenta con l'aumentare della frequenza, poichè un aumento di quest'ultima corrisponde ad un maggior numero di variazioni di corrente, dalle quali dipende, a sua volta, la f.e.m. opposta.

RESISTENZA e INDUTTANZA in SERIE

Consideriamo ora un circuito a c.a., in serie, contenente sia resistenza che induttanza (**figura 12-A**). Ricordiamo che in un circuito in serie la corrente è eguale in tutti i punti. Pertanto, la corrente è eguale sia nella resistenza che nell'induttore.

Tuttavia, la tensione presente ai capi della resistenza è in fase con la corrente, mentre quella presente ai capi della bobina è fuori fase di 90° (in anticipo), per cui le cadute di tensione ai capi di entrambe sono reciprocamente sfasate di 90°, come illustrato in figura **12-B**.

Per determinare la tensione fornita dalla sorgente è necessario sommare le due tensioni vettorialmente a causa di detto sfasamento.

La caduta IR ai capi della resistenza è espressa in fase con la corrente vettore a 0°. La caduta ai capi della bobina, E_l, è espressa a 90° nel campo positivo (un quarto di periodo in senso antiorario) il che indica che essa è in anticipo di 90° rispetto alla corrente. Costruendo un parallelogramma come illustrato, si forma un triangolo rettangolo avente E_R come base, E_l come altezza, ed E_T, diagonale del parallelogramma, come ipotenusa. La tensione totale risultante viene determinata dall'equazione seguente (derivata dal noto teorema di Pitagora sul triangolo rettangolo):

$$E_t = \sqrt{E_R^2 + E_l^2}$$

L'angolo θ rappresenta la differenza di fase tra la tensione applicata, E_t, e la corrente del circuito: in un circuito contenente sia resistenza che reattanza induttiva, rappresenta l'angolo di ritardo, cioè il numero dei gradi di ritardo della corrente rispetto alla tensione. Più avanti vedremo che, in un circuito capacitivo, θ rappresenta un angolo di anticipo, ossia l'angolo col quale la corrente è in anticipo (anzichè in ritardo come avviene con l'induttanza) rispetto alla tensione.

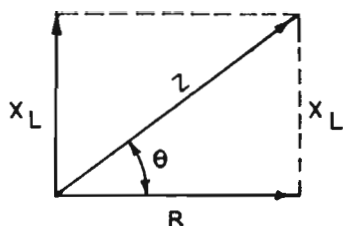



Fig. 13 — Gli effetti della resistenza e della « reattanza induttiva » possono essere espressi sotto forma di vettori; si ottiene il triangolo dell'impedenza ossia dell'opposizione totale alla corrente.

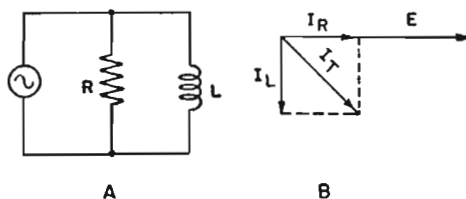



Fig. 14 — Se resistenza ed induttanza sono in parallelo (figura A) si ha come riferimento orizzontale del diagramma vettoriale (figura B) la tensione, in quanto essa è la stessa ai capi di ogni ramo del circuito. Il diagramma è relativo alla corrente « I » e dimostra il ritardo di 90° della corrente « IL » rispetto alla tensione « E ».

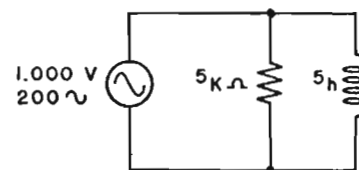



Fig. 15 — Il circuito della figura di fianco è qui preso ad esempio con determinati valori onde poter fare un esempio di calcolo per ricavare il valore di « XL », reattanza induttiva.

Conoscendo E_R ed E_l, è possibile determinare θ mediante la trigonometria, come segue:

$$t_g\,\theta = \frac{\text{lato opposto}}{\text{lato adiacente}} = \frac{E_l}{E_R}$$

Una volta trovato il valore di $t_g\theta$ si può trovare il valore dell'angolo con l'uso della tabella alla voce « tangenti ».

IMPEDENZA

Poichè qualsiasi bobina ha una sua resistenza, l'opposizione totale al passaggio della corrente in ogni circuito induttivo è una combinazione tra la resistenza e la reattanza induttiva. Entrambe queste opposizioni costituiscono l'opposizione totale o **impedenza** del circuito induttivo.

L'impedenza è rappresentata dal simbolo Z e viene espressa in ohm.

Gli effetti reattivi e resistivi non possono essere sommati aritmeticamente in quanto, come abbiamo testè visto, sono sfasati tra loro, per cui la somma deve essere calcolata vettorialmente.

Sebbene sia la resistenza che la reattanza induttiva siano quantità e non vettori, i loro effetti possono essere espressi sotto forma di vettori. Il motivo risiede nel fatto che essi rappresentano cadute di tensioni quando vengono moltiplicati per la corrente che scorre nel circuito. Essendo quest'ultima, I, comune ad entrambi, la si trascura, e sia X_l che R vengono espresse in un diagramma vettoriale ma senza frecce.

La **figura 13** illustra il triangolo dell'impedenza. R è in fase con la corrente, ed X_l costituisce l'altezza del triangolo rettangolo. L'impedenza è rappresentata dalla ipotenusa. Per cui:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_l^2}$$

Notare che l'angolo di fase di un circuito induttivo è un angolo positivo compreso tra 0 e 90°.

Poichè l'impedenza di un circuito rappresenta l'opposizione totale al passaggio della corrente, le relazioni tra tensione e corrente possono essere stabilite semplicemente dall'equazione:

$$I = E:Z$$

nella quale I è la corrente in ampère, E è la f.e.m. applicata, e Z è l'impedenza in ohm.

INDUTTANZA e RESISTENZA in PARALLELO

Come avviene nei circuiti a c.c., la tensione presente ai capi di ogni ramo di un circuito in parallelo a c.a. è la medesima. Perciò, in un circuito in parallelo la tensione applicata costituisce il riferimento orizzontale per un diagramma vettoriale, e le correnti sono rappresentate in senso orario o antiorario rispetto alla tensione.

La **figura 14-A** mostra un esempio di circuito contenente resistenza ed induttanza in parallelo. La sezione **B** della figura rappresenta un diagramma vettoriale delle correnti che percorrono tale circuito.

Il tratto che rappresenta la corrente che attraversa la resistenza, I_R, giace lungo il vettore della tensione, E, in quanto è in fase. La corrente che scorre attraverso l'induttanza, I_l, è rappresentata a 90° in senso orario in quanto è in ritardo di 90° rispetto alla tensione.

Si forma un triangolo rettangolo avente I_t come ipotenusa, e quindi si ha:

$$I_T = \sqrt{I_R^2 + I_l^2}$$

L'impedenza del circuito è determinata dalla seguente equazione:

$$Z = E:I_T$$

A questo punto effettuiamo un'analisi completa dello stesso circuito in parallelo ma riferendoci alla **figura 15**, ove abbiamo supposto R di 5.000 ohm, L di 5 henry, e l'uscita del generatore di 1.000 volt, a 200 hertz. Supponiamo di voler trovare X_l ed FP (fattore di potenza). Soluzione per X_l:

$$X_l = 2\pi FL$$

$$X_l = 2 \times 3.14 \times 200 \times 5 = 6.280 \text{ ohm}$$

È possibile convertire la formula polare dell'impedenza totale nelle sue coordinate rettangolari. Il risultato dà valori di R e di X_l, che, se collegati in serie all'alternatore (generatore della corrente), fanno in modo che quest'ultimo abbia il medesimo carico effettivo. Tale equivalenza di R e di X_l è nota come *circuito in serie equivalente* di un circuito in parallelo.

LE INDUTTANZE nella PRATICA

In questa parte del fascicolo, dedicata prevalentemente a lezioni di carattere pratico, esamineremo — sotto il citato profilo — quanto è stato argomento della lezione precedente. Osserveremo perciò le induttanze dal punto di vista pratico; vale a dire nelle loro caratteristiche di struttura, nel loro aspetto, nel loro progetto, nonchè nei loro vari sistemi costruttivi.

Intendiamo approfondire con ciò le cognizioni del lettore fino al punto di metterlo in grado, prima, di calcolare teoricamente, con sufficiente approssimazione, una induttanza, o una serie di induttanze, e, dopo, di realizzare le stesse anche se — occorre dirlo — nella pratica si ricorre quasi sempre a induttanze prefabbricate già disponibili in commercio. Inoltre, se così non è, i dati costruttivi vengono sempre esposti da chi presenta su una rivista o su un libro una descrizione che implichi la costruzione di una bobina di induttanza.

Iniziamo con una esposizione preliminare delle leggi, dei fenomeni e dei fattori che influenzano in modo notevole i criteri e i dati costruttivi.

L'EFFETTO PELLICOLARE

Come abbiamo visto precedentemente, la corrente continua si distribuisce in maniera uniforme attraverso la superficie della sezione trasversale di un conduttore, per cui la resistenza ohmica, ossia la resistenza alla c.c., è direttamente proporzionale alla resistenza specifica ed alla lunghezza, ed inversamente proporzionale alla superficie della sezione stessa.

Diversamente, la corrente alternata che scorre in un conduttore incontra un secondo tipo di resistenza (che non deve essere confusa con la reattanza), determinata dalle correnti parassite e dall'**effetto pellicolare**. L'effetto pellicolare — detto anche « *effetto Joule* » dal nome del fisico che lo scoprì — consiste nel fatto che la corrente alternata tende a percorrere la superficie esterna del conduttore, evitando di passare per la parte centrale. In altre parole, un conduttore percorso da corrente alternata potrebbe avere una sezione tubolare invece che piena, in quanto il metallo costituente la parte centrale, e che non è presente nella sezione tubolare, non viene percorso dalla corrente, e non contribuisce al passaggio della stessa. Ne deriva che la resistenza ohmica opposta da detto conduttore non può più essere calcolata solo in base alla sua resistenza specifica, bensì anche e soprattutto, in base alla frequenza della corrente alternata stessa. Ciò è una conseguenza del fatto che l'effetto pellicolare si manifesta in modo tanto più pronunciato quanto maggiore è la frequenza.

Questo è il motivo per cui alcune induttanze — destinate a funzionare con correnti notevoli e frequenze molto elevate — sono realizzate con un vero e proprio tubo di rame, esternamente ricoperto di argento. In questo caso il tubo fa a sua volta da supporto e partecipa in realtà in maniera limitata al funzionamento, perchè le correnti scorrono per lo più nello strato di argento depositato sulla superficie esterna del conduttore.

Un secondo sistema atto ad ovviare all'inconveniente delle correnti Joule, e che si è dimostrato di tale utilità da essere utilizzato per la fabbricazione della maggior parte delle induttanze nell'industria elettronica, consiste nel realizzare la sezione totale necessaria del filo, non con un conduttore unico, bensì con numerosi conduttori affiancati e isolati tra loro, aventi una sezione tale che la somma di tutte le loro sezioni corrisponda al valore necessario per una data applicazione.

Il filo così costituito prende il nome di **filo Litz.** Esso si presenta come un comune conduttore in rame smaltato, ricoperto ulteriormente di seta o di cotone, avente però evidentemeste una flessibilità molto maggiore di quella di un conduttore di rame singolo di analoga sezione. Togliendo un po' del rivestimento esterno, si potrà notare che la parte metallica è costituita da diversi conduttori, generalmente in numero variabile da 10 a 40, ciascuno dei quali ha una sezione minima, anch'essa variabile da 0,003 a 0,006 mm, e tutti ricoperti di smalto onde evitare il diretto contatto reciproco. Questo tipo di filo viene individuato nelle diverse combinazioni di conduttori secondo le quali è posto in commercio, appunto con denominazioni come $20 \times 0{,}04$, $25 \times 0{,}03$ ecc. che stanno ad indicare rispettivamente il numero e la sezione dei fili componenti.

Il funzionamento del filo Litz è del tutto intuitivo: ognuno dei componenti si comporta come un singolo conduttore costituente una induttanza. Tutte le induttanze così costituite, dal momento che i rispettivi terminali sono saldati insieme, risultano collegate in parallelo e strettamente accoppiate dal punto di vista induttivo, per cui, in pratica, formano una sola induttanza. In realtà l'effetto pellicolare si manifesta in ciascuna di esse però, sommando le superfici *esterne* di ogni singolo conduttore percorso dalla corrente, si ottiene un valore notevolmente superiore a quello di un conduttore singolo di sezione analoga; tutto ciò consente infatti di ottenere una

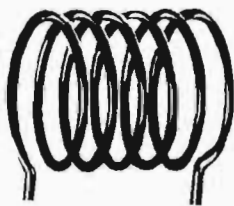



Fig. 1 — Tipo di induttanza a solenoide, per onde corte. È caratterizzato da minima perdita in quanto il conduttore è avvolto « in aria »; a volte viene saldato direttamente ai componenti ai quali deve essere collegato.

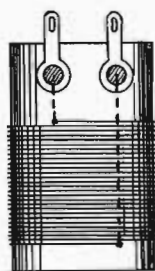



Fig. 2 — Quando occorrono molte spire si adotta un supporto e, se il conduttore è isolato, si possono avvolgere le spire anche affiancate, a contatto tra loro.

Fig. 3 — Avvolgimento a spire spaziate su supporto poligonale.

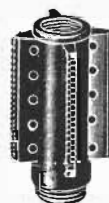



Fig. 4 — Supporto in bachelite stampata (a volte, anche in ceramica) che consente di realizzare bobine per onde corte con nucleo magnetico.

Fig. 5 — Supporti in bachelite; sul primo è visibile un avvolgimento del tipo detto a « nido d'ape »; il secondo supporto presenta una scanalatura a spirale per accogliere il filo.

minore resistenza ohmica — e quindi un rendimento più elevato — senza variare eccessivamente le dimensioni.

Una delle difficoltà che si manifestano nell'uso del filo Litz consiste nella saldatura dei suoi capi terminali. Onde poter sfruttare completamente le caratteristiche di questo conduttore, è assolutamente indispensabile che tutti i suoi fili componenti vengano accuratamente saldati insieme ad ogni capo dell'induttanza; l'esclusione di uno solo di essi può essere causa di un risultato completamente diverso e inferiore a quello previsto.

Nei casi in cui il filo è composto da conduttori da 0.003 mm, ad esempio, non è facile privarli dello smalto uno alla volta e poi saldarli senza romperli; sono stati escogitati vari sistemi più pratici e veloci che non l'operazione fatta a mano per ogni singolo conduttore. Uno dei sistemi più semplici consiste nel rendere incandescente l'estremità del conduttore e nell'immergerlo immediatamente dopo in alcool, prima che si raffreddi. In tal modo i rivestimenti di smalto vengono distrutti, ed il filo si presenta sufficientemente pulito per essere saldato. Questo metodo offre però l'inconveniente della probabile rottura e fusione di qualche conduttore, per cui l'operazione deve essere effettuata con la massima cura, ed il risultato può essere considerato abbastanza sicuro solo dopo che l'operatore ha acquistato una pratica notevole.

Un secondo sistema consiste nell'uso di speciali sostanze acide, disponibili in commercio, nelle quali viene immerso il terminale da saldare dopo essere stato privato del rivestimento di seta o cotone. I vari conduttori vengono aperti a ventaglio, ed immersi nella sostanza, la quale, dopo pochi minuti, stacca completamente il rivestimento di smalto che può così essere asportato mediante un panno asciutto. Questo sistema è il più pratico e quello che dà maggiori garanzie di successo ad un principiante.

Le correnti « parassite » precedentemente citate, non sono che deboli correnti indotte nel conduttore ad opera della corrente originale e sono in opposizione di fase con quest'ultima. Esse costituiscono quindi una perdita di potenza e, in effetti, possono essere considerate come una resistenza posta in serie al circuito. In particolare, allorchè si tratta di induttanze avvolte su nuclei di materiale magnetico, le correnti inducono altre correnti parassite in questo materiale; questo è il motivo per cui detti nuclei sono spesso costituiti da lamierini sottili ed isolati tra loro mediante strati di carta o di ossido che impediscono la circolazione delle correnti indotte.

TIPI di INDUTTANZE

Innanzitutto le induttanze possono essere distinte in *fisse* e *variabili*. Le prime hanno un valore determinato dalle caratteristiche costruttive che sono stabili sotto ogni aspetto; le seconde hanno invece un valore induttivo che può essere variato in diversi modi.

Un'altra suddivisione che permette di distinguere le induttanze tra loro è quella riferita al nucleo. Esistono infatti induttanze con nucleo cosiddetto *ad aria* in quanto sono avvolte su un supporto di materiale isolante internamente vuoto oppure, allorchè la rigidità del conduttore lo permette, addirittura senza supporto. Altri tipi, come abbiamo più volte ripetuto, sono provvisti di un *nucleo di materiale magnetico* (che può essere un impasto di materiale isolante e polvere di ferro, oppure ferrite o ferroxcube, dei quali a suo tempo ci occuperemo). Altri tipi ancora sono avvolti su nuclei di ferro al silicio, laminato. I primi due tipi vengono utilizzati per il funzionamento con frequenze elevate, a partire ad esempio da 50 kHz in su, mentre il terzo tipo viene utilizzato esclusivamente per il funzionamento con le frequenze della rete di distribuzione della corrente alternata, e con le frequenze acustiche, comprese cioè tra 16 e 20.000 Hz.

Le induttanze variabili possono essere tali in virtù delle caratteristiche elettriche e meccaniche che permettono di modificarne il valore induttivo. Uno dei sistemi per ottenere tale variazione potrebbe consistere, ad esempio, nel variare la distanza tra le spire. Una bobina infatti, costituita da un conduttore rigido, avvolto a spirale come una comune molla, potrebbe essere variata nel suo valore induttivo tendendola più o meno; la variazione in tal caso sarebbe dovuta evidentemente al diverso grado di accoppiamento tra le linee di forza determinate dalle singole spire; il sistema non è però adottato perchè poco pratico ai fini realizzativi.

Un altro sistema di variazione, già citato ed a noi noto, consiste nel praticare lungo l'avvolgimento varie prese alle quali è possibile collegare, mediante saldatura o mediante semplice contatto a morsetto, i vari fili di collegamento. È ovvio che, in tal modo, a mezzo delle prese,

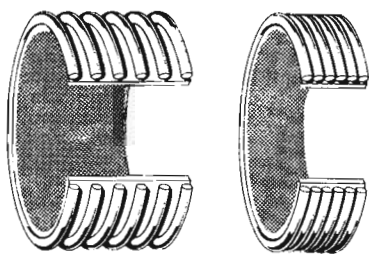



Fig. 6 — Anche con supporto, se di ceramica, si realizzano bobine per frequenze elevate: possono essere a spire distanziate (conduttore nudo) o a spire affiancate (conduttore isolato).

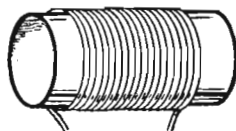



Fig. 7 — Per il collegamento con il circuito ci si può servire del conduttore stesso che serve ad avvolgere la bobina.

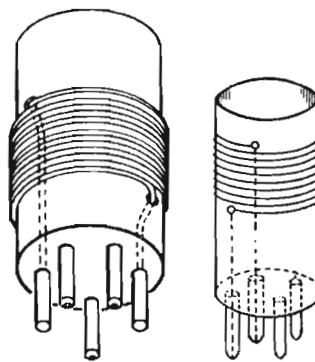



Fig. 8 — Tipi di bobine realizzati su supporti muniti di piedini che si innestano in uno zoccolo.

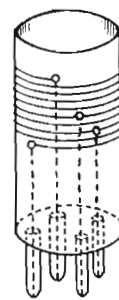



Fig. 9 — Bobina su supporto a piedini (per intercambiabilità), dotata di due prese.

una bobina può essere utilizzata per tutta la sua induttanza o per parte di essa.

Infine un ultimo sistema — che è in particolare il più usato grazie alla sua praticità ed alla sua sicurezza — è quello di variare il valore induttivo introducendo più o meno un nucleo di materiale magnetico. Su questo principio si basano per la maggior parte le induttanze variabili utilizzate nei circuiti radio ed elettronici in genere. La variazione è dovuta evidentemente al diverso grado di permeabilità, la quale è minima allorchè il nucleo è completamente estratto, e massima allorchè è invece completamente inserito.

INDUTTANZE per ALTE FREQUENZE

Seguiremo un certo ordine logico e cronologico nell'esaminare le diverse induttanze, riferendoci alle varie fasi evolutive, attraverso il tempo.

La **figura 1** illustra il tipo più semplice di bobina, tipo che noi già conosciamo nel suo aspetto. Essa è costituita da un conduttore rigido ed è avvolta, in fase costruttiva, su un corpo qualsiasi di forma cilindrica, avente le dimensioni predeterminate; in seguito viene estratta per essere fissata su un supporto adatto al collegamento. Questo tipo di bobina, detto « in aria », può essere ad induttanza fissa o variabile; nel secondo caso, è possibile variarne il valore col metodo delle prese. Come vedremo in seguito, questo tipo di induttanza viene utilizzato per il funzionamento su frequenze elevate, ossia per le gamme delle onde corte, cortissime ed ultracorte. Spesso è realizzato con filo di rame argentato o addirittura in tubo di rame argentato, a seconda della frequenza e dall'ammontare della corrente che lo percorre. Uno dei vantaggi che offre consiste nel fatto che la sua naturale rigidità ne consente il fissaggio diretto mediante saldatura dei terminali sugli altri componenti con i quali deve essere in collegamento.

La **figura 2** illustra un altro tipo, detto « induttanza cilindrica » o solenoide. Essa è praticamente eguale a quella testè vista e differisce soprattutto per l'isolamento delle spire e la presenza di un completo supporto.

Consiste in un conduttore di rame smaltato e ricoperto di seta o di cotone, avvolto in spire affiancate su un supporto isolante. Il valore induttivo è naturalmente determinato, come in ogni caso, dal numero delle spire, dalla sezione del conduttore, dal diametro dell'avvolgimento, dalla sua lunghezza, nonchè dalla distanza tra le spire e dal grado di permeabilità del nucleo, che, in questo caso è l'aria.

La forma del supporto sul quale la bobina è avvolta non deve essere necessariamente cilindrica. La **figura 3** illustra appunto un'altra esecuzione, ove si ha un avvolgimento su un supporto di forma poligonale; anche la **figura 4** illustra un supporto sul quale l'avvolgimento assume una forma diversa da quella cilindrica. La forma cilindrica però viene adottata quasi sempre, per la sua semplicità. Il materiale costituente il supporto, può essere di vario genere. Esistono infatti, bobine avvolte su tubo di cartone bachelizzato, o di bachelite stampata (vedi **figura 5**), o di ceramica o steatite, detta altrimenti « frequenta ». I tipi illustrati nelle figure 3, 4, **6** e **6 bis** vengono generalmente utilizzati per le bobine adatte al funzionamento su frequenze elevate, e ciò in quanto sia la ceramica che la « frequenta » o ancora il polistirolo, hanno caratteristiche magnetiche e di igroscopicità tali da consentire un minimo di perdite dovute al supporto.

Le bobine cilindriche si presentano con vari aspetti, in quanto possono essere munite di pagliette terminali per l'ancoraggio dei collegamenti relativi (figura 2), oppure i conduttori stessi costituenti gli avvolgimenti possono prolungarsi esternamente alla bobina onde consentire l'allacciamento ai circuiti in cui vengono utilizzate (**figura 7**).

Esistono tipi di bobine dette « intercambiabili », attualmente in uso solo sui trasmettitori o in altri apparecchi del tutto particolari, nelle quali il supporto è montato su di uno zoccolo munito di piedini (**figura 8**). In tal modo è possibile estrarre la bobina dal portazoccolo al quale fanno capo i vari collegamenti al circuito, e sostituirla con altra che, pur rispettando detti collegamenti, abbia però caratteristiche elettriche diverse, tali cioè da consentire il funzionamento su altre frequenze.

A questo punto è opportuno specificare che la bobina, comunque essa sia, non deve essere necessariamente costituita da un unico avvolgimento.

Sappiamo che l'avvolgimento, oltre ad avere un principio ed una fine, può presentare una o più prese intermedie: in questo caso la bobina già assume in effetti l'aspetto di due o più bobine (a seconda del numero delle prese) avvolte sul medesimo supporto e collegate rispettivamente in serie (**figura 9**).

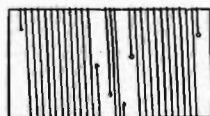



Fig. 10 — Tre bobine distinte su di un unico supporto (trasformatore di A.F.).

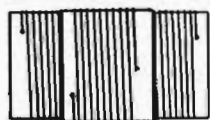



Fig. 11 — Bobine analoghe alle precedenti ma su due supporti concentrici.

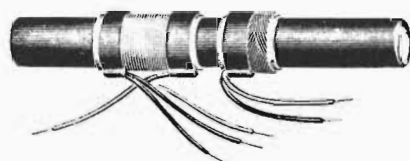



Fig. 12 — L'accoppiamento tra due diverse bobine può essere variato rendendo scorrevole sul supporto uno degli avvolgimenti. Tutto il supporto può essere in materiale ferromagnetico (per A.F.) e ciò favorisce rendimento ed accoppiamento.

Fig. 13 — Nuclei e supporti (figura 13 bis) in materiale ferromagnetico atti all'impiego con diversi tipi di bobine: il primo illustrato, ad esempio, può essere usato col supporto di figura 4.

Un'altra frequente alternativa è illustrata alla **figura 10.** Qui, sul medesimo supporto, vi sono due o più avvolgimenti — isolati tra loro — nel qual caso si ha evidentemente un trasformatore per Alta Frequenza. Come è noto, la corrente che percorre uno di essi determina tensioni indotte negli altri avvolgimenti accoppiati induttivamente, con un rapporto di trasformazione proporzionale al rapporto tra le spire. In questo caso, ricordiamo, vi è sempre un avvolgimento primario che induce tensione, e quindi corrente, nello o negli altri avvolgimenti.

Un'altra caratteristica della bobina cilindrica è che — allorchè il numero delle spire è elevato — allo scopo di evitare una lunghezza eccessiva dell'intero avvolgimento, o quanto meno un diametro eccessivo dello stesso, è possibile avvolgere il conduttore in due o più strati sovrapposti. La **figura 11** illustra appunto una bobina di questo tipo; è facile notare che l'avvolgimento a strati sovrapposti è completamente separato dall'altro avvolgimento, al quale è accoppiato per via induttiva.

Quando una induttanza è provvista di vari avvolgimenti, il grado di accoppiamento tra di essi varia col variare della distanza che li separa in maniera inversamente proporzionale: in altre parole l'accoppiamento è tanto più stretto quanto minore è la distanza. Ciò può permettere un certo grado di variabilità, per cui esistono bobine, come quella illustrata nella **figura 12,** nelle quali uno degli avvolgimenti è avvolto su un secondo supporto, normalmente costituito da una striscia di cartoncino avvolta ad anello, che scorre sul supporto principale. In fase di messa a punto, una volta trovata sperimentalmente la distanza ideale, si ferma la parte mobile mediante poche gocce di cera o di vernice.

Le bobine possono raggiungere un elevato grado di variabilità nel loro valore, grazie all'uso dei nuclei ferromagnetici. Questi ultimi sono costituiti, come si è detto, da un impasto di sostanze isolanti che agiscono da « legante » nei confronti della polvere di materiale magnetico, e possono avere varie forme; la **figura 13** ne illustra due tipi tra i più comuni. Generalmente i nuclei sono filettati sulla superficie esterna, il che permette di avvitarli all'interno della bobina, il cui supporto è filettato in corrispondenza. Esistono nuclei di tale tipo, che portano alle estremità un taglio lungo il diametro, nel quale è possibile inserire la lama di un cacciavite onde provvedere alla regolazione. Altri presentano invece una sporgenza a sezione quadrata o esagonale, per la cui regolazione occorrono speciali chiavi appositamente sagomate.

Per ultimo, citeremo un tipo di bobina con variazione di induttanza ancora più ampia. Esso venne utilizzato — secondo una tecnica costruttiva pressocchè abbandonata — per i circuiti di ingresso di apparecchi radio. Ricordando che tutte le bobine dotate di nucleo per la regolazione vengono denominate « a permeabilità variabile » (grazie alla variazione della permeabilità dovuta alla maggiore o minore introduzione del nucleo stesso) diremo che le ultime di cui si è fatto cenno sono ad ampia variabilità. La variazione, in effetti, può essere estesa entro limiti talmente distanti da coprire una intera gamma d'onda (ad esempio, la gamma delle onde medie). In questo caso il nucleo non è filettato: mentre la bobina ed il suo supporto sono fisse e stabili, il nucleo viene spostato da un congegno azionabile dall'esterno a mezzo della manopola di sintonia. Il nucleo ha, per tali impieghi, generalmente una forma cilindrica e lunga, paragonabile a quella di una matita.

I recenti progressi conseguiti nel campo dei piccoli apparecchi radio, specie di quelli di formato tascabile, hanno determinato lo sviluppo di un altro tipo di induttanza, quello illustrato nella **figura 14.** Si tratta di bobine che, essendo avvolte su di un nucleo di « ferrite », di forma piatta ed allungata, non hanno la forma convenzionalmente cilindrica. Ciò non toglie però che esistano induttanze del tutto analoghe, avvolte su nuclei del medesimo materiale e di forma cilindrica. In questo caso il diametro del nucleo si aggira intorno ai 10 mm e la lunghezza va da 10 a 20 centimetri (**figura 15**). Queste induttanze fungono nello stesso tempo da bobine d'accordo (ossia sintonizzabili, a mezzo condensatore variabile) e da mezzo captatore (antenna) dato il loro sviluppo relativamente ampio. Con il loro impiego si nota uno spiccato effetto direttivo nei riguardi delle radio-onde captate, nel senso che se la bobina è diretta verso l'emittente l'energia captata è minima, mentre è massima se viene ruotata di 90° rispetto a tale posizione.

L'ultimo tipo di bobina che è necessario citare in quanto è quello più comunemente adottato nella maggior parte dei casi, è il tipo cosiddetto a nido d'ape.

La **figura 16** ne illustra un esemplare; è facile dedurre le ragioni che ne hanno determinato il nome. Queste bobine vengono avvolte con una macchina speciale che — durante la rotazione del supporto necessaria per effettuare l'avvolgimento stesso — sposta ritmicamente il

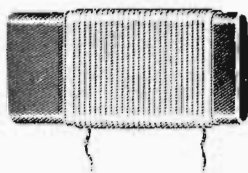



Fig. 14 — Bobina a forma piatta, avvolta su speciale supporto di « ferrite »: è usata in ricevitori portatili, anche come antenna.

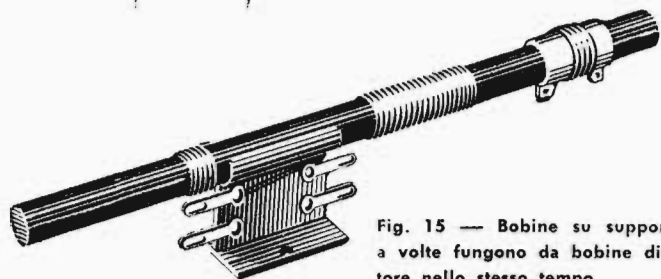
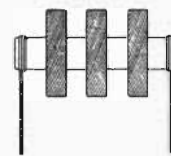



Fig. 15 — Bobine su supporto di « ferrite » cilindrico: a volte fungono da bobine di accordo e da mezzo captatore nello stesso tempo.

Fig. 16 — Due avvolgimenti del tipo detto a « nido d'ape »: in uno spazio ristretto è possibile con questo tipo di bobina realizzare un alto valore induttivo.

Fig. 17 — Le bobine a « nido d'ape » sono spesso usate come impedenze di Alta Frequenza: eccone una, a tre sezioni, avvolta su supporto ceramico.

filo da un'estremità all'altra della bobina in modo da ottenere un avvolgimento a spire incrociate con un passo determinato a priori. Il vantaggio delle bobine a nido d'ape, generalmente realizzate con filo del tipo Litz, consiste nel fatto che, con un minimo ingombro, è possibile ottenere alti valori induttivi di avvolgimenti, caratterizzati anche da un rendimento notevole, vale a dire quindi da minime perdite.

La bobina a nido d'ape viene impiegata nei circuiti sintonizzati di apparecchi radio nelle gamme delle onde medie e lunghe, nonchè come impedenza per Alta Frequenza. In tutti quei casi, cioè, in cui il numero delle spire è piuttosto elevato. La **figura 17** illustra un tipo di impedenza per Alta Frequenza, del cui funzionamento ci occuperemo più avanti.

FATTORE di MERITO

Il fattore di merito, o « Q » di una bobina, è dato dal rapporto tra la sua reattanza induttiva X_l (ossia $2\pi f L$) e le sue perdite, dovute alla resistenza ohmica R, ossia:

$$Q = X_l : R$$

È difficile determinare il fattore di merito con sufficiente esattezza in fase di calcolo, tuttavia sono normalmente note le caratteristiche che una bobina deve avere onde presentare un Q elevato.

L'avvolgimento deve avere il massimo diametro; la lunghezza non deve essere nè inferiore alla metà, nè superiore al doppio del diametro. Lo spessore del supporto, il cui materiale, per quanto isolante, è sempre causa di perdite, dovrà essere del pari il minimo possibile. Ovviamente, da questo punto di vista le bobine migliori sono quelle « in aria ».

Oltre a ciò, il diametro del conduttore dovrà essere il massimo possibile, compatibilmente con le esigenze dimensionali della bobina, ossia con la possibilità di alloggiare il numero di spire calcolato — come vedremo tra breve — nella lunghezza stabilita e con spaziatura tra le spire inferiore al diametro del filo stesso.

Allorchè la sezione del conduttore, la lunghezza dell'avvolgimento, la distanza tra e spire e la natura del supporto sono ideali, il Q della bobina varia approssimativamente col quadrato del diametro.

Nel caso di bobine funzionanti su frequenze molto elevate (onde corte), si preferisce impiegare il filo rigido, e la bobina è solitamente del tipo cilindrico ad un solo strato. Se le spire sono spaziate tra loro si può impiegare un conduttore nudo o argentato, mentre se esse sono affiancate, l'isolamento di smalto — o meglio ancora di seta o di cotone — è indispensabile ad evitare cortocircuiti tra le spire.

Nel caso invece di bobine funzionanti su frequenze relativamente basse (onde lunghe, e medie), si usa generalmente il filo Litz, e l'avvolgimento viene eseguito, come già si è detto, nel tipo a nido d'ape.

Agli effetti del fattore di merito, è della massima importanza che le bobine siano protette contro l'umidità, mediante l'immersione in una speciale vernice anigroscopica, e ciò è particolarmente necessario se il conduttore è rivestito di seta o di cotone.

Il Q dell'induttanza ha importanza notevole nel determinare, in un circuito accordato, la *larghezza di banda*.

La larghezza di banda di un circuito risonante è definita come la gamma di frequenze entro la quale la tensione presente ai capi del condensatore variabile di sintonia (ossia alle estremità della bobina), non cade al di sotto del 70,7% del valore corrispondente alle condizioni di risonanza. Essa è determinata dal Q del circuito, secondo le relazioni:

$$Q = \frac{F_r}{F_s - F_i}$$

e

$$\text{larghezza di banda} = \frac{F_r}{Q}$$

nelle quali F_r = frequenza di risonanza, F_i = frequenza inferiore, alla quale il valore della tensione si riduce al 70,7% del valore a risonanza, F_s = frequenza superiore alla quale il valore della tensione si riduce al 70,7% del valore a risonanza, ed $F_s - F_i$ = larghezza di banda.

CALCOLO PRATICO di una BOBINA

Abbiamo già considerato il fatto che — per ovvie ragioni — il radioamatore raramente costruisce da sè le varie parti che compongono l'apparecchiatura che desidera realizzare, come ad esempio condensatori, resistenze, bobine ecc. Tuttavia può a volte verificarsi l'oppor-

Diametro filo mm	Spire per cm (Avvolgimento serrato)	
	filo smaltato	2 cop. cotone
1,30	7,5	6,5
1	9,4	8
0,8	12	11
0,6	15	12
0,5	18,5	14
0,4	23	17
0,32	29	20
0,22	40	23
0,20	45	26
0,16	57	28

Fig. 18 — Tabellina utile per il calcolo del numero di spire contenuto nello spazio di 1 cm lineare, a seconda del tipo di filo adottato. Può servire anche, come nell'esempio del testo, per scegliere il filo in base allo spazio disponibile ed al numero di spire necessario.

tunità di avvolgere una bobina, o di modificarne una già esistente al fine di ottenere l'induttanza o altre caratteristiche necessarie per un compito specifico.

Fortunatamente ciò non è difficile una volta conosciuti i problemi che si possono incontrare.

Il sistema di calcolo che stiamo per esporre si riferisce esclusivamente alle bobine cilindriche ad un solo strato, in quanto le bobine a nido d'ape sono difficilmente realizzabili a mano, e d'altra parte esse sono in commercio in un numero di tipi tale da soddisfare qualsiasi esigenza d'amatore, sia tecnica che economica.

Esistono varie formule per il calcolo di una bobina: alcune sono molto esatte ed altrettanto complesse. Altre invece sono forse meno precise, ma la possibilità di intervenire in seguito con piccole modifiche al fine di correggere gli eventuali errori, nonchè la notevole semplicità del calcolo, compensano largamente tale inferiorità. Prenderemo in considerazione solo queste ultime.

Le caratteristiche più importanti di una bobina sono: **l'induttanza** (in microhenry, nei correnti impieghi in radiotecnica), **le dimensioni** meccaniche (in millimetri), **la resistenza ohmica** (in ohm), ed **il fattore di merito** Q.

Sebbene qualsiasi valore di induttanza possa essere ottenuto in determinate dimensioni bisogna subito premettere che le perdite aumentano col diminuire delle dimensioni stesse, per cui le proprietà ora citate devono essere viste unitamente.

Il primo passo da compiere per calcolare una bobina d'accordo consiste *nello stabilire il valore dell'induttanza*, la quale dipende dalla gamma di frequenze sulle quali essa deve funzionare, e dalla capacità del condensatore variabile collegato ad essa in parallelo al fine di esplorare la gamma considerata. Ovviamente, nel caso che la bobina debba funzionare su un'unica frequenza, la capacità non dovrà più essere variabile.

Il vero e proprio calcolo del valore induttivo necessario per una data caratteristica di funzionamento sarà oggetto di una delle prossime lezioni ove ci occuperemo esplicitamente dei circuiti risonanti; per il momento esula dal nostro compito. Accontentiamoci dunque di sapere come, conoscendo a priori il valore induttivo, sia possibile — mediante un semplice calcolo — ricavare il numero delle spire che la bobina deve avere, in base alle altre caratteristiche meccaniche, per corrispondere alle esigenze di progetto.

In linea di massima, la tecnica moderna si orienta verso le minime dimensioni di ingombro delle induttanze, specie in conseguenza del fatto che tutti gli altri componenti tendono a loro volta a diventare sempre più piccoli. Le uniche bobine che fanno eccezione a questa regola sono quelle che il lettore avrà occasione di impiegare per la costruzione di apparecchi trasmittenti.

Forniremo comunque un esempio di calcolo di una bobina di dimensioni medie. Supponiamo allora che il diametro debba essere di 38 mm, e che la lunghezza dell'avvolgimento non debba superare i 50 millimetri. Tali dimensioni vengono scelte arbitrariamente, in funzione soprattutto della disponibilità di spazio nell'apparecchio che si desidera realizzare. Supponiamo inoltre, che l'induttanza della bobina che dobbiamo realizzare sia di 185 µH.

A questo punto conosciamo il valore induttivo (L), il raggio della bobina (r), pari a metà del diametro, ossia 19 mm, e la lunghezza dell'avvolgimento (l), pari a 50 millimetri.

La formula che segue, esprime appunto l'induttanza in funzione degli altri valori a noi noti:

$$L = \frac{r^2 N^2}{(228.6 \times r) + (254 \times l)}$$

nella quale N^2 rappresenta il quadrato del numero delle spire.

Poichè quest'ultimo fattore è quello di cui dobbiamo conoscere il valore numerico, mediante alcuni semplici passaggi algebrici la formula può essere trasformata in modo da esprimere il numero delle spire in funzione degli altri valori noti, come segue:

1) eliminando il denominatore della frazione che costituisce il secondo membro della equazione, si ha:

$$L\ (228.6\ r + 254\ l) = r^2\ N^2$$

2) poichè il primo membro dell'equazione è uguale al secondo, il secondo è uguale al primo per cui essa può essere trascritta come segue:

$$r^2\ N^2 = L\ (228.6\ r + 254\ l)$$

3) a questo punto possiamo isolare il fattore N^2, portando r^2 come denominatore al secondo membro, per cui l'equazione diventa:

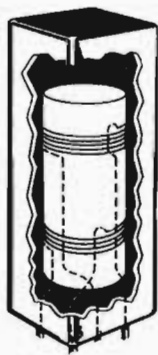



Fig. 19 — Bobina racchiusa in apposito contenitore a effetto schermante.

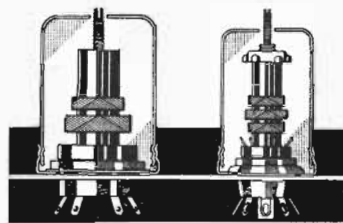



Fig. 20 — Altre bobine (trasformatori di A.F.), a nido d'ape, entro schermo metallico, con accesso al nucleo ferromagnetico di taratura.

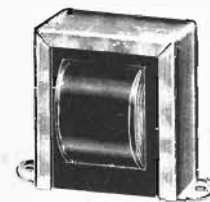
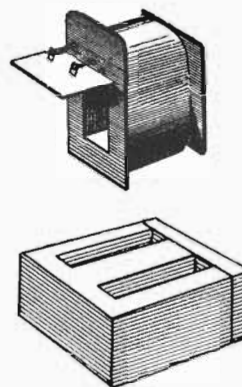



Fig. 21 — Impedenze per Bassa Frequenza. A sinistra l'impedenza è raffigurata nei suoi elementi: « carcassa » con avvolgimento e « pacco lamellare ».

$$N^2 = \frac{L\ (228{,}6\ r + 254\ l)}{r^2}$$

4) infine, estraendo la radice quadrata sia dal primo che dal secondo membro, avremo la formula che esprime il valore di N, ossia del numero delle spire.

$$N = \sqrt{\frac{L\ (288{,}6\ r + 254\ l)}{r^2}}$$

Se in quest'ultima formula sostituiamo alle lettere r ed l i rispettivi valori numerici, non ci rimane che eseguire le operazioni necessarie per ricavare N, per cui

$$N = \sqrt{\frac{185\ (288{,}6 \times 19 + 254 \times 50)}{19^2}}$$

Eseguendo ora le moltiplicazioni interne alla parentesi tonda, si ha:

$$N = \sqrt{\frac{185\ (4.343{,}4 + 12.700)}{19^2}} \quad \text{ossia} \quad = \sqrt{\frac{185\ .(17.043{,}4)}{361}}$$

$$\text{ossia} \quad = \sqrt{\frac{3.153.029}{361}} \quad \text{ossia} \quad = \sqrt{8.734}$$

In quest'ultimo valore sono state volutamente trascurate le cifre decimali al di là della virgola, in quanto la loro omissione non pregiudica in modo apprezzabile la precisione del risultato.

A questo punto non ci rimane che consultare una comune tavola numerica, onde trovare il numero che, con la maggiore approssimazione possibile, costituisca la radice quadrata del numero 8.734. Troviamo infatti che la radice quadrata di 8.649 (il numero più prossimo al nostro), è 93.

Il numero delle spire della bobina da noi calcolata è dunque:

$N = 93$ con sufficiente approssimazione.

Una volta noti i valori di induttanza, diametro, lunghezza dell'avvolgimento e numero delle spire, non resta che stabilire il diametro del conduttore, dopo di che si può procedere alla realizzazione.

Il diametro del conduttore è di importanza relativa agli effetti dell'induttanza, dato che le correnti che percorrono la bobina — in linea di massima — sono di entità trascurabile. Ciò che conta invece è che la distanza tra le spire sia costante in caso di spire spaziate, o che queste ultime siano perfettamente affiancate.

Notiamo che il nostro rapporto 93:5 (ossia 93 spire diviso 5 cm) corrispondente ad un fattore di 18,6 spire per centimetro, si avvicina a 18,5 nella colonna del filo smaltato, ed a 20 nella colonna del filo con doppia copertura di cotone, nella tabellina di **figura 18**.

Tra l'altro precisiamo che pubblicheremo una versione molto più completa e dettagliata di tale tabella allorchè ci occuperemo del calcolo e della realizzazione dei trasformatori.

I valori, nel nostro caso, corrispondono pertanto ad un conduttore del diametro di 0,5 mm se smaltato, e di 0,32 mm se ricoperto di cotone.

Nel caso di bobine per onde corte, nelle quali le spire sono avvolte con un conduttore di grande sezione e sono spaziate tra loro, conviene sempre trovare una via di mezzo tra la sezione del conduttore e l'effettivo coefficiente spire/cm. Ciò consentirà di stabilire con sufficiente esattezza la spaziatura necessaria tra le spire.

Sapendo, ad esempio, che le spire devono essere in numero di 5 per ogni centimetro di lunghezza, si potrà avvolgere un conduttore smaltato da 1 mm di diametro, spaziando le spire di 1 mm tra loro.

SCHERMATURA delle BOBINE

Come si è detto all'inizio di questa lezione ed in altri casi, ogni bobina funzionante è circondata da un campo magnetico da essa generato, che può influenzare altri componenti del circuito che si trovino in prossimità. Analogamente, essa stessa può essere influenzata da campi magnetici alternati ad essa prossimi. Per questo motivo, in molti casi, è opportuno racchiudere la bobina entro scatole metalliche cilindriche o quadrate che costituiscono il cosiddetto **schermo** avente il compito di confinare il flusso elettromagnetico. La **figura 19** illustra appunto una induttanza schermata vista in sezione. Le dimensioni della scatola, sia essa cilindrica o prismatica, devono essere tali che le pareti risultino distanziate dalla bobina stessa, perchè altrimenti se ne comprometterebbe il valore induttivo, e il rendimento. Lo schermo

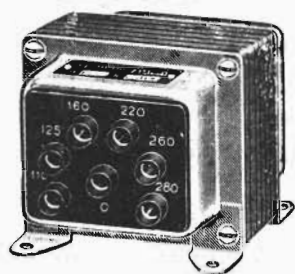



Fig. 22 — Tipico autotrasformatore per adattamenti di tensione rete. Il principio di funzionamento sarà esposto in apposita lezione.

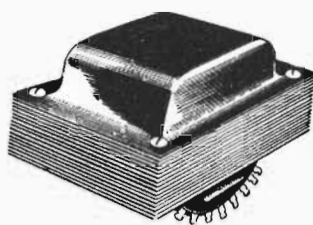



Fig. 23 — Due trasformatori. Il tipo a sinistra viene usato per l'alimentazione di apparecchiature radio ed è montato direttamente sullo « chassis » in un'ampia finestra praticata nello stesso. L'altro modello è a volte adottato nel campo delle frequenze acustiche.

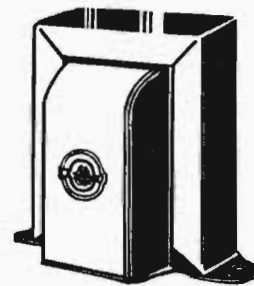
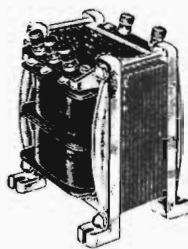



Fig. 24 — I trasformatori sono assai spesso schermati con « calotte » di ferro che nello stesso tempo contribuiscono alla protezione degli avvolgimenti.

può essere considerato, infatti come un avvolgimento accoppiato, in cortocircuito su se stesso; le correnti in esso indotte rappresentano altrettante perdite.

Introducendo una bobina in uno schermo, si verifica un minimo di perdita allorchè le dimensioni sono tali da mantenere tra la superficie esterna dell'avvolgimento e quella interna dello schermo una distanza superiore alla metà del diametro della bobina. Al di sotto di queste condizioni, l'induttanza si riduce all'incirca del 10% quando il rapporto tra la lunghezza ed il diametro è pari a 0,5; del 13% quando è pari a 1, e del 17% quando è pari a 2. Uno schermo più piccolo aumenterà le perdite e diminuirà l'induttanza in modo non proporzionale alla riduzione delle sue dimensioni.

Come ultimo esempio, si noti che uno schermo il cui diametro sia maggiore solo del 10% rispetto a quello della bobina riduce l'induttanza di oltre il 70%.

La **figura 20** illustra altri tipi di bobine schermate, nei cui schermi sono visibili i fori attraverso i quali è possibile introdurre un cacciavite o altro attrezzo per la regolazione del nucleo ferromagnetico di taratura. Con l'Alta Frequenza l'azione schermante necessaria è soprattutto elettrostatica per cui il materiale costituente lo schermo deve essere ad alta conduttività (rame, alluminio, ecc.). Affinchè la schermatura compia la sua funzione di protezione sia nei confronti della bobina verso i campi esterni, sia nei confronti dei componenti esterni verso la bobina stessa, l'involucro metallico deve essere collegato elettricamente ad un punto a potenziale elettrostatico zero, vale a dire, quasi sempre al telaio metallico che supporta i componenti dell'apparecchio e che nei rispetti di tutto il montaggio costituisce il ritorno comune di « massa ».

INDUTTANZE per BASSE FREQUENZE

Gli ultimi tipi di induttanze che ci restano da considerare in questo esame generale, sono quelle funzionanti con le frequenze dell'energia elettrica (corrente alternata) e con le frequenze acustiche che coprono la gamma della Bassa Frequenza.

Tali induttanze sono analoghe a quelle cilindriche già citate, ma sono costituite da un numero di spire molto più elevato, sono a strati multipli e sono sempre avvolte su un nucleo di materiale magnetico (ferro al silicio o altra lega di maggiore permeabilità).

Nel caso di un unico avvolgimento — con o senza prese intermedie — l'induttanza prende il nome di **impedenza** per Bassa Frequenza, in quanto, come vedremo, può costituire un vero e proprio impedimento al passaggio di una corrente alternata, mentre consente il passaggio della corrente continua. La **figura 21** ne illustra due esemplari; si può notare la matassa dell'avvolgimento effettuato su una apposita *carcassa*, ed il *pacco* costituito dai lamierini che compongono il nucleo.

Un'altra induttanza del genere è **l'autotrasformatore.** È un organo che, come il trasformatore serve per trasformare il valore di una tensione alternata in altro o in altri valori: un autotrasformatore è illustrato nella **figura 22.** Si nota una basetta di ingresso sulla quale figurano vari valori della tensione di entrata. Sull'altro lato — non visibile sulla figura — si trova un'altra basetta identica a quella di ingresso, dalla quale è possibile prelevare le tensioni di uscita. L'autotrasformatore è costituito da un unico avvolgimento (a differenza del trasformatore che è costituito da due o più avvolgimenti) provvisto di varie prese, a due a due predisposte per il collegamento a diverse tensioni. Una volta effettuato tale collegamento è possibile prelevare sull'altra basetta tutte le tensioni disponibili, a seconda della coppia di prese alle quali viene effettuato il collegamento. È dunque logico dedurre che l'entrata e l'uscita di un autotrasformatore sono invertibili, per cui non esiste tra loro alcuna distinzione.

Infine un tipo di induttanza complessa è il **trasformatore**, che — come sappiamo — permette di prelevare e di utilizzare le tensioni indotte in un avvolgimento ad opera di un altro percorso da corrente. La **figura 23** ne illustra due esemplari; di essi ci occuperemo dettagliatamente in seguito in una lezione dedicata esclusivamente a tale argomento.

Anche le induttanze per Bassa Frequenza hanno naturalmente un flusso disperso, costituito da un campo magnetico circostante da esse prodotto, e sono anch'esse sensibili ai campi magnetici esterni. Per questo motivo è bene siano schermate (**figura 24**). Essendo la frequenza in gioco più bassa che non nel caso delle induttanze per Alta Frequenza, le linee di forza che investono lo schermo trovano in esso una migliore permeabilità se lo stesso è costituito da materiale magnetico (esempio, ferro).

SIMBOLI - ABBREVIAZIONI

e = Tensione istantanea
H = henry
k = Coefficiente di accoppiamento
L = Induttanza (in μH, mH o H)
L_T = Induttanza totale
M = Induttanza mutua
mH = millihenry (millesimi di H)
Q = Fattore di merito
r = Raggio di una bobina
RL = Circuito con Resistenza e Induttanza
S = Sezione in cm²
T = Costante di tempo
X = Reattanza (in genere) in ohm
X_L = Reattanza induttiva in ohm
Z = Impedenza in ohm
ϑ = Angolo di fase
μH = microhenry (milionesimi di H)

FORMULE

$e = E_{max} \text{ sen } \vartheta$

$I = E : X_L$

$L = (K \mu S N^2) : (10^8 \times l)$

Tra varie induttanze in serie, non accoppiate:

$L_T = L1 + L2 + L3 + \ldots\ldots$

Tra varie induttanze in parallelo, non accoppiate:

$1 : L_T = (1 : L1) + (1 : L2) + (1 : L3) + \ldots\ldots$

Tra due induttanze in parallelo, non accoppiate:

$$L_T = \frac{L1 \times L2}{L1 + L2}$$

Tra due induttanze in serie, accoppiate con campi magnetici nel medesimo senso:

$L_T = L1 + L2 + 2M$

Tra due induttanze in serie, accoppiate con campi magnetici in senso opposto:

$L_T = L1 + L2 - 2M$

$$L = \frac{r^2 N^2}{(228,6 \times r) + (254 \times l)} \qquad M = k \sqrt{L1 \times L2}$$

$T = L : R \qquad Q = X_L : R$

$X_L = 2\pi FL \qquad X_L = \omega L \qquad Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \qquad \omega = 2\pi F$

SEGNI SCHEMATICI

 = Bobina per B.F. avvolta su nucleo di ferro

 = Bobine per B.F. avvolte su nucleo di ferro ed accoppiate tra loro (Trasformatore)

DOMANDE sulle LEZIONI 28ª e 29ª

N. 1 — In quale caso si manifesta in una bobina una tensione auto-indotta?

N. 2 — Quale è l'influenza esercitata sulla corrente di un circuito da una f.e.m. indotta?

N. 3 — Da cosa viene determinato l'ammontare di una f.e.m. indotta?

N. 4 — In qual modo l'induttanza varia col variare del numero delle spire in un avvolgimento?

N. 5 — Se un'induttanza di 40 henry è accoppiata ad una bobina di 200 henry con un coefficiente di accoppiamento « K » pari a 0,7, quale è l'induttanza mutua?

N. 6 — In un circuito esclusivamente induttivo, come si comportano la corrente e la tensione?

N. 7 — Se una induttanza di 10 henry è percorsa da una corrente alternata avente una frequenza di 60 Hz, a quanto ammonta la reattanza induttiva?

N. 8 — A quanto ammonta l'impedenza di un circuito in serie in cui figurano 60 ohm di reattanza induttiva e 35 ohm di resistenza ohmica?

N. 9 — Per quale motivo in una induttanza pura non viene dissipata alcuna potenza?

N. 10 — Se una resistenza ed una bobina sono collegate in serie tra loro ed ai capi di una tensione di 400 volt, e se la caduta di tensione ai capi della prima è di 270 volt, a quanto ammonta IX_L?

N. 11 — A quanti millihenry ed a quanti microhenry corrisponde un'induttanza di 0,05 henry?

N. 12 — Quale è la proprietà elettrica che si oppone al passaggio di una corrente costante in un circuito?

N. 13 — A quanto ammonta l'induttanza di una bobina avente una lunghezza di 200 cm, un diametro di 5 cm, una permeabilità pari a 1 e 2.400 spire?

N. 14 — A quanto ammonta il coefficiente di accoppiamento tra due bobine se il 30% del flusso prodotto dalla prima investe la seconda?

N. 15 — Esprimere mediante la formula l'induttanza mutua tra due bobine in funzione dell'induttanza di ciascuna di esse e del relativo coefficiente di accoppiamento.

N. 16 — Quale è l'induttanza totale in henry di un circuito in serie costituito da tre induttanze di 10 henry ciascuna, perfettamente schermate (ossia non accoppiate) tra loro?

N. 17 — Quale è l'induttanza totale di un circuito in parallelo costituito da tre induttanze di 15 henry ciascuna perfettamente schermate (ossia non accoppiate) tra loro?

RISPOSTE alle DOMANDE di Pag. 209

N. 1 — Uno strumento che consente di misurare il valore in ohm, in kohm, o in Mohm, di una resistenza elettrica.

N. 2. — Nell'ohmetro in serie, la resistenza incognita viene connessa in serie allo strumento, per cui a massimi valori ohmici corrispondono minime deviazioni dell'indice; nel tipo in parallelo la resistenza incognita viene connessa in parallelo, per cui a massimi valori ohmici corrispondono massime deviazioni dell'indice.

N. 3 — Al fine di consentire misure comprese tra valori minimi e massimi. Ciò non è possibile in un'unica portata in quanto la precisione di lettura non sussisterebbe più.

N. 4 — Aumentando l'intensità della corrente che scorre nel circuito.

N. 5 — Aumentando la tensione fornita dalla batteria di alimentazione dello strumento, oppure aumentando la sensibilità di quest'ultimo.

N. 6 — Moltiplicando il valore indicato dall'indice per il fattore di moltiplicazione corrispondente alla portata scelta.

N. 7 — Perchè l'invecchiamento della batteria e le inevitabili variazioni delle costanti a causa delle variazioni di temperatura, fanno variare la corrente circolante allorchè i puntali si toccano senza alcuna resistenza tra loro.

N. 8 — Che i componenti ai capi dei quali si effettua la misura non siano sotto tensione.

N. 9 — Perchè altrimenti la batteria di alimentazione sarebbe soggetta a consumo continuo e si scaricherebbe rapidamente.

N. 10 — Uno strumento adatto a varie misure.

N. 11 — Due: a commutatore ed a boccole separate.

N. 12 — Nelle portate amperometriche, perchè la resistenza dei contatti del commutatore può essere causa di errori.

N. 13 — Può essere letta nelle portate di 500 e di 1.000 volt: nella prima con maggior precisione, e nella seconda con maggior sicurezza per lo strumento.

N. 14 — Nella portata massima: in seguito si potrà diminuire la portata fino ad avere un'indicazione soddisfacente.

N. 15 — Aggiungendo una resistenza addizionale esterna, calcolata in base al fattore ohm/volt dello strumento.

N. 16 — Perchè in tali casi si corre il rischio di piegare l'indice, peraltro molto delicato, e di interrompere la bobina mobile.

N. 17 — Non è possibile misurarlo, ma è possibile controllarlo. Infatti, nella portata ohmetrica più elevata, il valore a fondo scala è dell'ordine dei Megaohm, per cui, se non si ha alcuna lettura, ciò significa che l'isolamento è buono. Non è però possibile accertare a quale tensione detto isolamento ceda.

N. 18 — Misure di: 1) tensione in corrente continua; 2) tensione in corrente alternata; 3) corrente in corrente continua; 4) resistenza.

TABELLA 41

GRAFICI delle RELAZIONI RECIPROCHE tra REATTANZA INDUTTIVA INDUTTANZA - FREQUENZA

I tre grafici che seguono sono di notevole utilità pratica in quanto permettono di calcolare rapidamente, senza l'aiuto delle relative formule, **la reattanza induttiva, l'induttanza** o **la frequenza**, ciascuna di esse in funzione delle altre due.

Detti grafici coprono rispettivamente tutti i valori compresi tra 0,002 microhenry e 2.000 henry, tra 0,01 ohm e 10 Megaohm, ed infine tra 1 hertz e 1.000 Megahertz.

Per maggiore chiarezza, in ciascuno è riportato un esempio di impiego. Per l'uso, si tratta semplicemente di tracciare una linea retta che unisca i due valori noti sulle relative scale, individuando così il valore incognito con l'intersecazione della retta sulla terza scala corrispondente.

Come abbiamo visto nelle lezioni precedenti, la reattanza di una bobina è data dalla formula:

$$X_L = 2\pi FL$$

dalla quale è possibile ricavare:

$$L = \frac{X_L}{2\pi F} \quad \text{oppure} \quad F = \frac{X_L}{2\pi L}$$

Consideriamo l'esempio riportato sul primo grafico.

Supponiamo di dover calcolare la reattanza induttiva in ohm di una bobina avente una induttanza di 0,02 µH, relativa ad una frequenza di 78 MHz.

Applicando la prima delle formule sopra riportate, avremmo:

$$X_L = 2 \times 3{,}14 \times 78.000.000 \times 0{,}00000002 = 9{,}79 \text{ ohm}$$

Se tracciamo, sul nostro grafico (*primo esempio*) la retta che unisce il valore di 0,02 µH a quello di 78 MHz, individuiamo sulla scala della reattanza il valore 10 che, con una buona approssimazione, corrisponde a quello ottenuto con l'applicazione della formula.

Se dobbiamo conoscere (*secondo esempio*) l'induttanza di una bobina che oppone una reattanza di 2.000 ohm ad una frequenza di 10 kHz, è sufficiente unire con una retta i due punti che individuano i due citati valori sulle scale relative, prolungandola fino ad incontrare la scala dell'induttanza (a sinistra), sulla quale leggiamo il valore di 30 mH.

Infine, (*terzo esempio*), se dobbiamo conoscere la frequenza in corrispondenza della quale un'induttanza di 2,08 H oppone una reattanza di 650 ohm, uniamo i punti corrispondenti e proseguiamo la retta fino ad intersecare la scala delle frequenze (a destra) sulla quale leggiamo il valore di 50 Hz.

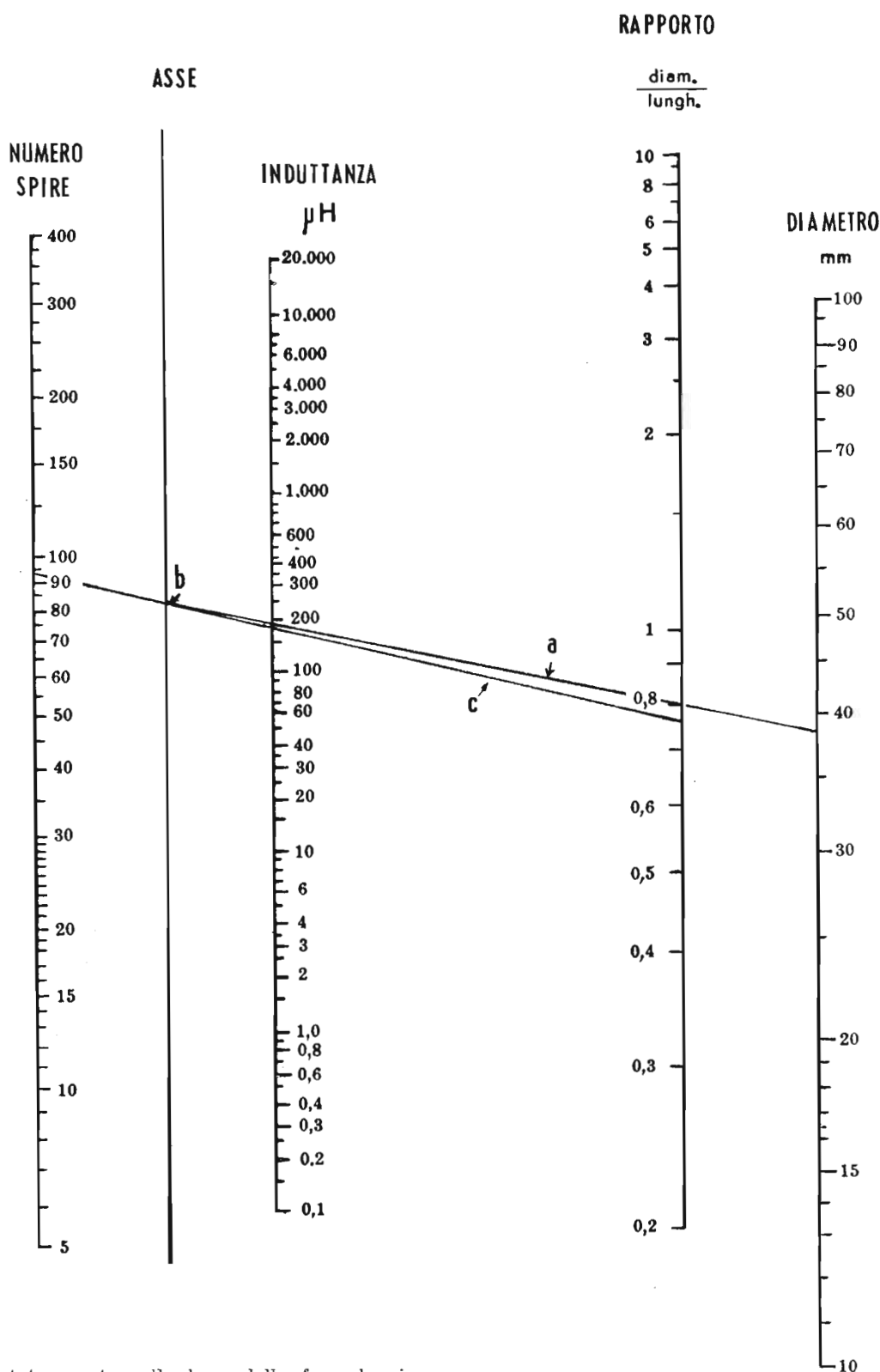
Ovviamente l'applicazione della formula consente un calcolo molto più esatto nei confronti delle cifre decimali, tuttavia il lettore constaterà che, per gli impieghi pratici, l'esattezza dei grafici è soddisfacente.

Per maggior chiarezza abbiamo riportato un esempio diverso su ciascuno grafico, tuttavia è evidente che ognuno di essi si presta indifferentemente ai tre tipi di calcolo.

INDUTTANZA
L
REATTANZA
XL
FREQUENZA
f
MΩ
Ω
MICROHENRY
MEGAHERTZ

INDUTTANZA
L
2.000
1.000
500
200
50
20
10
5
2
1
0,5
0,2
0,1
0,05
0,02
0,01
0,005
0,002
MILLIHENRY
REATTANZA
XL
MΩ
10
5
2
1
0,5
0,2
0,1
100.000
50.000
20.000
10.000
5.000
2.000
1.000
500
200
100
50
20
10
5
2
1
0,5
0,2
0,1
0,05
0,02
0,01
Ω
FREQUENZA
f
1.000
500
400
300
200
150
100
50
40
30
20
15
10
5
4
3
2
1,5
1
CHILOHERTZ

INDUTTANZA
L
REATTANZA
XL
FREQUENZA
f
2.000
1.000
500
200
50
20
10
5
2
1
0,5
0,2
0,1
0,05
0,02
0,01
0,005
0,002
MΩ
10
5
2
1
0,5
0,2
0,1
100.000
50.000
20.000
10.000
5.000
2.000
1.000
500
200
100
50
20
10
5
2
1
0,5
0,2
0,1
0,05
0,02
0,01
Ω
1.000
500
400
300
200
150
100
50
40
30
20
15
10
5
4
3
2
1,5
1
HENRY
HERTZ

TABELLA 42 - GRAFICO per il CALCOLO RAPIDO di INDUTTANZE CILINDRICHE ad un SOLO STRATO

Il grafico è stato creato sulla base della formula riportata nella lezione precedente, ed è di facile impiego. L'esempio si riferisce appunto al calcolo effettuato precedentemente (vedi pag. 230). Dal punto corrispondente al diametro di 38 mm, si traccia una linea (**a**) passante per il punto che corrisponde al valore di 185 μH sulla *scala dell'induttanza,* individuando così il punto **b** *sull'asse di riferimento*. Da questo punto si traccia una seconda linea (**c**) fino ad incontrare sull'asse del *rapporto diam./lungh.* il valore derivante da 38 : 50 e cioè 0,76. Detta linea, prolungata a sinistra, individua sulla relativa colonna il *numero delle spire,* (93). Anche questo grafico è reversibile, per cui, noti il numero delle spire e le dimensioni meccaniche, è possibile conoscere l'induttanza invertendo il procedimento. La sezione del filo potrà essere ricavata dalla tabellina pubblicata a pag. 230.

TESTER ANALIZZATORE Mod. 60 "I.C.E."

BREVETTATO - **Sensibilità c. c. e c. a. = 5.000 ohm per volt**

Il Tester più semplice e più pratico.
Il Tester meno ingombrante con la più ampia scala di lettura.
Il Tester per tutti i radiotecnici ed elettrotecnici.
Il Tester senza commutatori e quindi il più stabile ed il più preciso.
Il Tester con strumento antiurto montato su sospensioni elastiche.
Il Tester dalle innumerevoli prestazioni.
Il Tester più preciso al prezzo più basso, data l'altissima produzione.

CARATTERISTICHE TECNICHE

Scatola base in speciale materiale plastico infrangibile - Pannello interamente in Cristal antiurto, che permette di sfruttare al massimo l'ampiezza del quadrante di lettura ed elimina completamente le ombre sul quadrante stesso. Eliminazione totale quindi, del vetro, sempre soggetto a facilissime rotture e scheggiature e della relativa cornice in bachelite opaca - Una sola scala per tutte le misure voltmetriche in c.a.; una sola scala per tutte le misure in c.c.; una sola scala per tutte le portate ohmetriche.

I. C. E.
INDUSTRIA COSTRUZIONI ELETTROMECCANICHE
VIA RUTILIA, 19/18 - Tel. 531.554 /5/6 - MILANO

22 PORTATE DIFFERENTI !

- **4 portate milliamperometriche in c.c.:** 1 - 10 - 100 e 1000 mA.
- **4 portate voltmetriche in c. a.:** 10 - 50 - 250 e 1000 volt.
- **4 portate voltmetriche in c. c.:** 10 - 50 - 250 e 1000 volt.
- **4 portate per misure d'uscita:** 10 - 50 - 250 e 1000 volt per tutte le frequenze acustiche
- **3 portate per misure in dB:** da −10 dB a +50 dB.
- **3 portate ohmetriche:**
  ohm × 1 = da 0 a 20.000 ohm;
  ohm × 10 = da 0 a 200.000 ohm;
  ohm × 100 = da 0 a 2 Megaohm.

Misure d'ingombro:
mm 126 x 85 x 28. Extrapiatto !
Peso grammi 280.

A titolo di propaganda si accettano prenotazioni alle seguenti condizioni: (prezzo netto di qualsiasi sconto franco ns. stabilimento) scatola di montaggio come descritta sul « Corso di Radiotecnica » - fascicolo 9 - Lit. 5.950.

Astuccio per detto, in resinpelle speciale, antiurto ed antimacchia L. 400 -

Tester già montato e completo di astuccio . . . L. 6.950.

——— - Eventuale puntale supplementare per misure di alta tensione fino a 25.000 volt (esempio, per misure di alta tensione su televisori) L. 2.980.

Volendo estendere le portate del suddetto Tester mod. 60 anche per le misure amperometriche in c.a. di: 250 mA; 1 A.; 5 A.; 25 A.; 50 A.; 100 A.; richiedere il trasformatore di corrente mod. 618, del costo di sole L. 3.980.

È una rivista a carattere tecnico commerciale che su ognuno dei suoi fascicoli di oltre 100 pagine, tratta — con indirizzo di praticità e accessibilità senza pari — tutti i problemi dell'elettronica.

La Televisione, la tecnica della Bassa Frequenza, con particolare riguardo all'Alta Fedeltà, l'emissione dilettantistica, le misure ed i relativi apparecchi, i transistori, ecc. sono argomenti, praticamente, di ogni numero.

Un'ampia e dettagliata rassegna della produzione nazionale ed estera offre al lettore la possibilità di mantenersi al corrente su ciò che costantemente il mercato presenta di nuovo.

È una rivista ricca di contenuto — ove tutti gli articoli sono accessibili a tutti i lettori — molto illustrata, stampata su ottima carta, razionalmente impaginata.

Ecco perchè RADIO e TELEVISIONE è realmente — da diverso tempo — la rivista del ramo a più alta tiratura in Italia!

Abbonamento: "RADIO e TELEVISIONE" - via dei Pellegrini N° 8/4
conto corr. postale: 3/4545 - Milano

Una copia - alle edicole - Lire 300

"RADIO e TELEVISIONE" : la più utile -
la più interessante - la più aggiornata - una grande rivista.

4 copie gratuite

Il fascicolo dicembre 1960 (N. 96) ora in vendita alle edicole sarà offerto in omaggio unitamente ai tre fascicoli precedenti (o ad altri da indicare) a coloro che invieranno la quota di abbonamento per i 12 Numeri del 1961: . . . Lire 3060.

Sconto 10 % agli abbonati al "Corso di Radiotecnica": . . Lire 2754.

corso di RADIOTECNICA

pubblicazione settimanale - 10 - 17 dicembre 1960 - un fascicolo lire 150 11° numero

corso di
RADIOTECNICA

settimanale a carattere culturale

Direzione, Amministrazione, Pubblicità:
Via dei Pellegrini 8/4 - Telef. 593.478
MILANO

Ogni fascicolo — contenente 3 lezioni — costa lire 150, acquistato alle edicole.

Se l'edicola risulta sprovvista, o si teme di rimanere privi di qualche numero, si chieda invio settimanale direttamente al proprio domicilio a mezzo abbonamento.

Il versamento per ricevere i 52 fascicoli costituenti l'intero Corso è di lire 6500 + I.G.E. = lire 6630. A mezzo vaglia postale, assegno bancario, o versamento sul conto corr. postale 3/41.203 del « Corso di RADIOTECNICA » - Via dei Pellegrini 8-4 - Milano.
In ogni caso, scrivere in modo molto chiaro e completo il proprio indirizzo.

L'abbonamento può essere effettuato in qualsiasi momento; si intende comprensivo delle lezioni pubblicate e dà diritto a ricevere tali lezioni, che saranno inviate con unica spedizione.

Estero: abbonamento al Corso, Lit. 8.500. ($ 15). Numeri singoli Lit. 300 ($ 0,50).

Per i cambi di indirizzo durante lo svolgimento del Corso, unire lire 100, citando sempre il vecchio indirizzo.

Fascicoli singoli arretrati — se disponibili — possono essere ordinati a lire 300 cadauno.
Non si spedisce contrassegno.

Distribuzione alle edicole di tutta Italia: Diffus. Milanese . Via Soperga, 57 - Milano.

Direttore responsabile: Giulio Borgogno.

Autorizzaz. N. 5357 - Tribunale di Milano.

Stampa: Intergrafica S.r.l. - Cologno Monzese.

La Direzione non rivende materiale radio; essa può comunicare, se richiesta, indirizzi di Fabbricanti, Importatori, Grossisti ecc. in grado di fornire il necessario ed ai quali il lettore può rivolgersi direttamente.

Alla corrispondenza con richiesta di informazioni ecc. si prega allegare sempre il **francobollo per la risposta.**

Parte del testo e delle illustrazioni è dovuta alla collaborazione del Bureau of Naval Personnel, nonchè al Dept. of the Army and the Air Force - U.S.A.

A chi può essere utile questo Corso? Anzitutto — stante la sua impostazione — il Corso, basato sull'esposizione in forma a tutti accessibile, della radiotecnica, dai suoi elementi basilari alla evoluzione più recente, rappresenta la forma ideale per tutti coloro che intendono dedicarsi all'elettronica, sia come forma ricreativa sia — soprattutto — per l'acquisizione di una professione specializzata che possa procurare loro una posizione di privilegio in seno alla società odierna.

Anno per anno, la nostra civiltà si indirizza sempre più verso questa meravigliosa, si potrebbe dire fascinosa, elettronica, che nel modo più evidente consente sviluppi impensati, progressi grandiosi e una rapida evoluzione di tutti gli altri rami dello scibile che essa tocca e influenza.

L'industria, tutta l'industria, nel senso più ampio, da quella elettrotecnica a quella meccanica, alla metallurgica, alla chimica ecc., con i suoi laboratori di ricerca e le sue fabbriche richiede, e richiederà sempre più, con un ritmo rapidamente crescente, tecnici specializzati con conoscenza dell'elettronica, tecnici specificatamente elettronici e persino operai e impiegati di ogni ordine e categoria con cognizioni di elettronica.

Si può dire che anche le branche commerciali, quelle dei trasporti e persino quelle amministrative con le recenti introduzioni delle calcolatrici, abbisognano di personale che conosca i principi dell'elettronica, le macchine relative, il loro pieno sfruttamento, la eventuale riparazione ecc. e, quanto più in modo completo, quanto meglio.

Nasce, da una tale situazione, una logica conseguenza: per la scelta di una professione o di un mestiere, per un miglioramento della propria posizione sociale, per l'intrapresa di una libera attività o anche per la sola acquisizione di cognizioni che indubbiamente verranno oltremodo utili, è quanto mai opportuno riflettere se non sia conveniente dedicare un po' di tempo allo studio di questa scienza che ha tra l'altro il pregio di rendersi immediatamente attraente, concreta, accessibile e foriera di moltissime soddisfazioni.

A questo scopo appunto, e con questi intenti, è stato redatto questo Corso.

Non mancano invero altri corsi (specie per corrispondenza) o scuole di radiotecnica, nè mancano (sebbene siano in numero del tutto inadeguato) scuole statali o pareggiate ma la struttura e l'impostazione che caratterizzano queste 156 lezioni sono alquanto particolari, presentando non pochi vantaggi sulle diverse altre forme di cui si è detto.

Anzitutto vogliamo porre in evidenza **il fattore economico.**

Frequentare regolarmente, durante tutto l'anno, una scuola è certo il modo più logico — anche se non il più rapido — per apprendere ma, tralasciando il fatto che rarissimi sono gli Istituti di radiotecnica, è a tutti possibile dedicarsi esclusivamente, e per l'intero anno, allo studio? Noi riteniamo che chi può farlo costituisca oggi assai più l'eccezione che la regola. Ciò significa infatti poter disporre liberamente del proprio tempo senza avere la necessità di un contemporaneo guadagno: il nostro Corso permette a chiunque di studiare a casa propria, nelle ore libere dal lavoro, senza abbandonare o trascurare quest'ultimo. Ciò caratterizza invero anche altri corsi, ma il vantaggio economico diviene notevole ed evidentissimo se si considera che di fronte all'esborso, anche se rateale, di quasi 80.000 lire che i corsi per corrispondenza richiedono, seguendo il nostro Corso la spesa in un anno risulta di poco più di 7500 lire (150 lire alla settimana presso un'edicola) o di 6630 lire totali, con recapito postale, settimanale, delle lezioni a domicilio.

E' superfluo dire che la Modulazione di Frequenza, i transistori, i circuiti stampati, la trasmissione, il telecomando ecc. sono argomenti integrali del Corso e non costituiscono motivo di corsi speciali, aggiunti o particolari.

Le lezioni di questo Corso — a differenza di molte altre — non sono stampate con sistemi di dispensa, a ciclostile, o con sistemi più o meno analoghi, derivanti cioè da un originale battuto a macchina da scrivere; esse sono stampate in uno stabilimento grafico, con chiari caratteri tipografici da cui deriva una assai più agevole lettura e — fattore certamente di non secondaria importanza — un contenuto molto più ampio, corrispondendo una pagina a stampa a tre o quattro pagine di quelle citate. Il lettore avrà, alla fine del Corso, un volume di ben 1248 pagine di grande formato!

Chiunque, indipendentemente dall'età, dalla professione e dalle scuole compiute **può seguire il Corso.** Alle esposizioni teoriche si abbinano numerose, attraenti, istruttive ed utili descrizioni che consentono la realizzazione di ricevitori, amplificatori, strumenti vari e persino di trasmittenti su onde corte.

A questo proposito è sintomatico il fatto che la Direzione non vuole assolutamente assumere la fisionomia di un fornitore o commerciante di materiale radio, rivendendo agli allievi le parti necessarie. Il materiale occorrente l'interessato può acquistarlo dove e come meglio crede e, assai spesso anzi, già ne dispone. Viene così evitato l'acquisto forzoso, caratteristico più o meno di tutti gli altri corsi.

Anche chi è già radiotecnico, anche chi ha seguito o segue altri corsi troverà il massimo tornaconto in questo completo ed aggiornato lavoro. Molte nozioni, è logico, saranno note, altre un po' meno e sarà utile rinfrescarle, e il tutto infine costituirà un manuale di consultazione, prezioso tanto per la teoria esposta quanto per i numerosi schemi, per le tabelle, per i grafici, gli elenchi, i dati, il vocabolario dei termini ecc.

Concludendo, si può affermare che questo **Corso di Radiotecnica** oltre che come insegnamento graduale si presenta come **enciclopedia e rivista assieme** ciò che permette di formare — con modestissima spesa — **il più completo, ricco, utile e pratico volume di radiotecnica di cui sia dato oggigiorno disporre.**

CAPACITA'

Dopo aver esaminato in dettaglio, nelle lezioni precedenti, quei componenti basilari dei circuiti elettronici che sono la resistenza e l'induttanza, passiamo ora ad analizzare un terzo elemento, non meno importante: la capacità.

Sappiamo già che l'induttanza si riferisce esclusivamente al campo magnetico in quanto la corrente che scorre in una bobina crea attorno ad esso un campo magnetico: la capacità si riferisce esclusivamente al campo elettrico, campo che si produce a causa della tensione.

Il condensatore l'abbiamo già incontrato nell'impiego — sia in esecuzione a valore fisso, sia in esecuzione a valore variabile (accordo dei circuiti sintonizzati) — nei semplici ricevitori radio che abbiamo descritti; ne abbiamo anche esposto, allora per sommi capi, il funzionamento, l'aspetto, le caratteristiche.

Rifacendoci a tali concetti, alcuni dei quali riteniamo opportuno quì ripetere come introduzione, dedichiamo all'argomento quel maggiore spazio che per importanza indubbiamente gli compete.

CARICA di un CONDENSATORE

Il circuito in serie della **figura 1** consiste di una capacità con dielettrico ad aria, di un galvanometro, di un deviatore e di una sorgente di corrente continua.

Le superfici conduttrici, « A » e « B », sono le armature. Quando il deviatore è in posizione *1* esse sono reciprocamente neutre; ciò vuol dire che esse sono al medesimo potenziale, e contengono un egual numero di cariche positive e negative. Portiamo ora il deviatore in posizione *2*; gli elettroni presenti all'elettrodo « A » vengono attratti dal polo positivo della batteria per cui lasciano l'elettrodo stesso carico di elettricità positiva, vale a dire mancante di elettroni. Il polo negativo della batteria fornisce elettroni all'elettrodo « B » caricandolo di elettricità negativa, ossia con eccesso di elettroni. Gli elettroni non possono passare attraverso la capacità dato che le armature sono separate da un buon isolante. Per questo, ogni qualvolta una capacità viene collegata ad una sorgente di potenziale, si carica immediatamente. La carica positiva su uno degli elettrodi induce sempre una carica negativa sull'altro; dette cariche sono sempre della medesima entità, se pure di segno contrario.

Le caratteristiche isolanti del dielettrico — abbiamo ora accennato — non permettono il passaggio della corrente continua. Tuttavia, non appena il deviatore viene portato dalla posizione *1* alla posizione *2*, l'indice del galvanometro subisce una momentanea deflessione verso destra, denotando un passaggio istantaneo di elettroni dall'elettrodo « A » all'elettrodo « B ». Si dice che il condensatore « si sta caricando » in tale frazione di tempo. Durante il passaggio di detta corrente, ai capi del condensatore in oggetto si forma una differenza di potenziale eguale a quella della batteria; una volta raggiunta tale differenza di potenziale il passaggio di corrente cessa ed il condensatore è completamente carico. Il condensatore si carica perciò con una tensione eguale in entità, ed opposta come polarità, a quella della batteria.

Le cariche opposte degli elettrodi si attraggono reciprocamente, ma non possono venire a contatto data la presenza del dielettrico. In esso perciò le cariche producono un campo elettrico, rappresentato nella figura dalle linee tratteggiate. Il campo costituisce l'energia elettrica immagazzinata nel dielettrico stesso.

Se infine il deviatore viene portato in posizione *3*, la sorgente di energia viene staccata, ma, non avendo gli elettroni alcun cammino da percorrere, la capacità resta carica.

SCARICA di un CONDENSATORE

Supponiamo ora di rimettere il deviatore in posizione *1*. Al momento dello scatto, si ha un passaggio istantaneo di corrente indicato nella figura dall'indice tratteggiato del galvanometro. Tale passaggio avviene in senso opposto a quello della corrente di carica, per cui il condensatore si scarica.

Gli elettroni in eccesso sull'elettrodo « B » si spostano attraverso il circuito all'elettrodo « A », finchè si raggiunge nuovamente l'equilibrio, ossia finchè gli elettrodi sono di nuovo reciprocamente neutri, nel qual caso la corrente che scorre tra di essi e la differenza di potenziale risultano zero.

CAMPO ELETTRICO

Vediamo ora meglio cosa accade nel dielettrico durante la carica e la scarica del condensatore. Sappiamo che un materiale isolante contiene pochi elettroni liberi; tuttavia, gli elettroni degli atomi dell'isolante possono essere spostati o comunque costretti a muoversi dalla loro sede quando si applica una tensione alle estremità dell'isolante. Riferendoci ancora alla figura 1 si può notare che

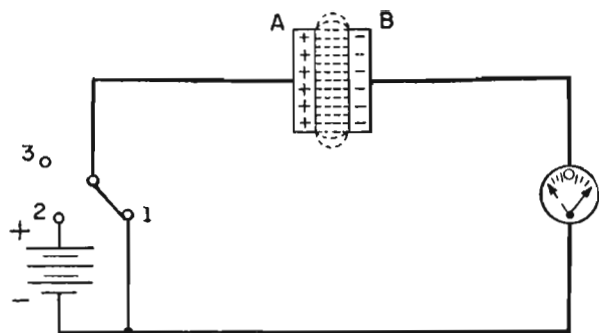



Fig. 1 — Circuito dimostrativo della carica di un condensatore. Col commutatore in posizione di « 1 », le armature « A » e « B » sono reciprocamente neutre, ossia al medesimo potenziale. Portando il commutatore su « 2 » avviene la carica in quanto la batteria fa sì che gli elettroni vadano da « A » al suo polo positivo mentre a « B » la batteria fornisce elettroni. Lo strumento indica in quell'istante un momentaneo passaggio di corrente, denotante la carica. Passando il commutatore su « 3 » la carica permane tra le armature.

gli elettroni dell'elettrodo « B » della capacità carica esercitano una forza di repulsione su quelli presenti negli atomi del dielettrico. Analogamente, l'elettrodo « A », essendo caricato positivamente, esercita una notevole attrazione sugli stessi. Perciò gli elettroni contenuti nel dielettrico, pur non potendo abbandonare le loro orbite negli atomi cui appartengono, assumono una nuova posizione. Lo spostamento degli elettroni costituisce un piccolo ed istantaneo passaggio di corrente nel dielettrico. Dato che tale corrente è causata, come si è visto, dal dislocamento degli elettroni sull'orbita degli atomi del dielettrico, viene denominata *corrente di dislocamento.*

Non appena la tensione viene tolta dal condensatore carico, gli elettroni spostati nel dielettrico restano nella loro nuova posizione in stato di tensione. In seguito alla scarica essi ritornano alla loro posizione primitiva, dando luogo ad uno spostamento in senso opposto.

Poichè gli elettroni del dielettrico, come abbiamo ora visto, possono oscillare avanti e indietro, il condensatore permette il passaggio della corrente alternata; ma, poichè non possono invece muoversi costantemente in una direzione, il condensatore non permette il passaggio alla corrente continua.

COSTANTE DIELETTRICA

Se come dielettrico viene impiegata la mica al posto dell'aria, si ha un maggior passaggio di corrente nel circuito esterno, il campo elettrico è più intenso, e l'energia in esso immagazzinata è in quantità maggiore. Ciò accade in quanto la mica, come pure altri isolanti, costituisce un conduttore migliore dell'aria in relazione alle linee di forza elettrica.

Se si caricano con la medesima tensione due condensatori con armature parallele, identici tra loro ad eccezione del dielettrico, si troverà che il numero di linee elettriche di forza è differente. Il rapporto tra il numero di linee di forza che si stabiliscono in un materiale dielettrico ed il numero di quelle che si stabiliscono nell'aria, si chiama **costante dielettrica** del materiale stesso. Ad esempio, se consideriamo la costante dell'aria eguale a 1, quella della mica corrisponde a circa 6, e quella dell'olio a circa 2. La lettera *K* rappresenta la costante dielettrica nelle equazioni relative alla capacità.

La capacità di un condensatore può essere paragonata in parte al volume di un recipiente. La quantità di liquido che è possibile introdurre in un recipiente è in relazione alle dimensioni di quest'ultimo; ma la quantità di carica elettrica che è possibile immagazzinare in una capacità non dipende soltanto dalle dimensioni degli elettrodi ma anche dalla costante dielettrica. Perciò la capacità di un condensatore ad elettrodi paralleli, aventi come dielettrico della mica, è molto maggiore che non quella di un condensatore analogo avente come dielettrico l'aria.

APPLICAZIONE nei CIRCUITI

Durante la carica e la scarica di un condensatore, il passaggio di corrente è istantaneo Mentre un condensatore si carica si produce ai suoi capi un progressivo aumento di tensione, esattamente come si produce un progressivo aumento di pressione internamente ad un pneumatico allorchè lo si riempie d'aria.

Quando una tensione a c.c. viene applicata ai capi di una capacità, la corrente scorre finchè la tensione sale dal suo valore iniziale a quello della sorgente di energia. Solo fino a che tale tensione subisce tale progressiva variazione lo strumento denota un passaggio di corrente nel circuito. Quando si applica una tensione a c.a., il passaggio di corrente tra gli elettrodi avviene sempre, in quanto la tensione per sua natura si manifesta, come sappiamo, con continue variazioni. Così una capacità permette il passaggio di una corrente nel circuito esterno quando varia la tensione ai suoi capi.

Dal momento che un condensatore permette il passaggio della corrente alternata e non quello della corrente continua, la sua azione è opposta a quella di una induttanza che permette il passaggio di una c.c. mentre oppone una forte resistenza al passaggio di una corrente alternata.

Le capacità vengono usate per diversi scopi. In alcuni circuiti ad esempio, è necessario che la c.a. non scorra in alcuni particolari elementi del circuito stesso; in questo caso, se si collega una capacità detta « di fuga » (in inglese « by pass ») *in parallelo* a tali elementi, la c.a. può avviarsi facilmente al condensatore anzichè passare negli elementi stessi. Un esempio di caso del genere è già stato da noi incontrato e messo in evidenza, nella descrizione dei semplici ricevitori a cristallo. Il lettore ricorderà a questo proposito che, dopo la rive-

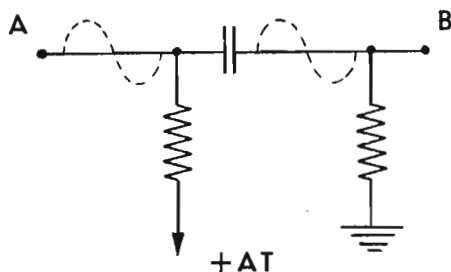



Fig. 2 — Tra gli impieghi della capacità vi è quello detto di accoppiamento. Viene sfruttata la caratteristica del condensatore consistente nel consentire il passaggio della corrente alternata e nell'impedire, nello stesso tempo, il passaggio della corrente continua. Nello schema, in « A » vi è contemporaneamente corrente continua (proveniente da +AT) e corrente alternata (segnale): solo quest'ultima raggiunge « B » così come è richiesto dalle necessità di questo circuito che è frequentemente adottato nelle apparecchiature elettroniche.

lazione, si inserisce un condensatore di fuga per l'Alta Frequenza residua affinchè la stessa non si inoltri alla cuffia con effetti dannosi alla stabilità elettrica del ricevitore.

Se in un circuito « fugato » deve scorrere una c.c., ciò può avvenire perfettamente perchè la c.c. scorre indipendentemente dalla presenza del condensatore in parallelo, dal quale non viene minimamente influenzata, dato che attraverso lo stesso non può avviarsi.

In altri circuiti è invece necessario evitare il passaggio di c.c. in un dato elemento. In questo secondo caso, un condensatore collegato *in serie* a tale elemento blocca la c.c. pur permettendo il passaggio della corrente alternata.

USO della CAPACITA'

Le capacità vengono usate in due modi. Il primo impiego consiste nel loro uso come dispositivi per immagazzinare energia. Quando un condensatore viene caricato, abbiamo detto che uno degli elettrodi accumula un eccesso di elettroni, mentre l'altro ne accumula la mancanza, per il fatto che detti elettroni non possono scorrere nel dielettrico. Utilizzando l'attitudine del condensatore ad immagazzinare energia, si può **1)** caricare detta capacità mediante una batteria o qualsiasi altra sorgente di c.c., **2)** mantenere tale carica per il tempo desiderato, oppure, **3)** regolare il tempo di carica e scarica.

Il secondo modo di impiego del condensatore consiste nell'uso come dispositivo di accoppiamento. In questo caso viene sfruttato il fatto — già messo in rilievo — che la c.c. viene bloccata mentre si permette il passaggio della c.a. È opportno osservare che, quando si dice che la c.a. passa attraverso un condensatore, non si ha una vera e propria corrente di conduzione elettronica attraverso il dielettrico. Si ha in realtà ciò che abbiamo già visto, una corrente di elettroni che si spostano avanti e indietro rispetto alle armature, e perciò la corrente che attraversa il condensatore è una corrente di disloccamento: l'ammontare di quest'ultima è eguale a quello della corrente degli elettroni: tuttavia è abituale dire semplicemente che la c.a. scorre attraverso un condensatore.

L'opposizione al passaggio di corrente da parte di una capacità varia in maniera inversamente proporzionale alla frequenza, ossia l'opposizione diminuisce con l'aumentare della frequenza. In un circuito progettato a dovere, un condensatore di accoppiamento permette il passaggio della c.a. senza opposizione apprezzabile. A causa di ciò, ai suoi capi si sviluppa una tensione minima e quasi tutta la tensione alternata, detta **tensione del segnale**, si presenta ai capi del carico utilizzatore.

Le cose più importanti da ricordare nel caso del condensatore usato come mezzo di accoppiamento sono le seguenti:

1) il segnale a c.a. passa attraverso il condensatore con una velocità analoga a quella della luce e con una perdita di ampiezza trascurabile;

2) le due armature del condensatore seguono le variazioni dei segnali quasi istantaneamente;

3) la caduta di tensione ai capi del condensatore è trascurabile, e

4) durante il ciclo di c.a., la carica e la scarica del condensatore non sono apprezzabili.

La **figura 2** illustra un circuito di accoppiamento tra i due punti *A* e *B*. Il **segnale** presente in *A* passa attraverso il condensatore senza subire variazioni di **fase o** di ampiezza. Il condensatore agisce nei confronti del segnale a c.a. come un vero e proprio conduttore. È opportuno notare che il condensatore della figura svolge anche, contemporaneamente, una funzione di bloccaggio tra il punto *A* e il punto *B* per il potenziale a c.c. indicato con *+AT.*

UNITA' di CAPACITA'

L'attitudine da parte di un condensatore a permettere il passaggio di una corrente quando varia la tensione applicata ai suoi capi si chiama **capacità.**

La capacità viene misurata in **farad,** dal nome di Michele Faraday, fisico inglese.

Un condensatore ha una capacità di 1 farad quando una variazione di 1 volt al secondo produce una corrente di 1 ampère attraverso il condensatore stesso.

Il farad è però un'unità troppo grande per essere usata agli scopi pratici, ed i condensatori usati generalmente nelle apparecchiature elettroniche vengono misurati in microfarad ed in micro-microfarad. *Un microfarad corrisponde alla milionesima parte di un farad ed un micro-microfarad alla milionesima parte di un microfarad.*

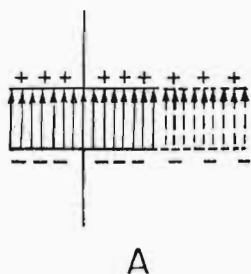



Fig. 3 A — La differenza di potenziale tra le due armature spinge le linee di flusso — qui rappresentate dalle frecce — all'interno del dielettrico. Se aumenta la superficie (parte tratteggiata) aumenta il numero di linee.

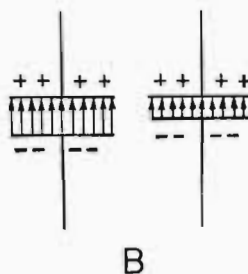



Fig. 3 B — Tra due condensatori di pari superficie, nelle armature, si ha maggiore passaggio di flusso — e quindi maggiore capacità — in quello che presenta minore distanza tra le armature stesse, vale a dire, minore spessore del dielettrico.

La capacità di un condensatore dipende da tre fattori: — la superficie degli elettrodi metallici o armature, la distanza tra di esse e la natura del dielettrico — per i seguenti motivi:

1) la differenza di potenziale tra le armature di un condensatore spinge le linee elettriche di flusso all'interno del dielettrico. Tali linee sono illustrate dalle righe presenti tra gli elettrodi del condensatore della sezione **A** di **figura 3**. È ovvio che, se la superficie delle armature viene aumentata, aumenta il numero delle linee, per cui scorre una corrente maggiore.

2) se la distanza tra gli elettrodi viene diminuita, diminuendo lo spessore del dielettrico, la distanza attraverso la quale la tensione deve spingere le linee di flusso diminuisce, per cui si ha un maggior passaggio di corrente. Per questo motivo il condensatore illustrato nella sezione **B** della figura 3 a destra, ha una capacità maggiore di quello di sinistra.

3) se in un dato condensatore si sostituisce la mica all'aria, la capacità diventa sei volte maggiore a causa della costante dielettrica K della mica che corrisponde a 6 mentre quella dell'aria corrisponde a 1.

La capacità di un condensatore ad armature parallele è data dall'equazione:

$$C = \frac{K A}{d} \times 0{,}0885$$

nella quale C equivale alla capacità in micro-microfarad ($\mu\mu F$), K equivale alla costante dielettrica del materiale usato, A equivale alla superficie di uno degli elettrodi in cm, e d alla distanza tra gli elettrodi in centimetri.

Da questa equazione si rileva che la capacità di un condensatore con armature parallele è **1)** direttamente proporzionale alle superfici opposte delle armature, **2)** inversamente proporzionale alla loro distanza (ossia allo spessore del dielettrico) e **3)** direttamente proporzionale alla costante dielettrica K.

La capacità di un condensatore può essere definita in funzione della quantità di energia che esso è in grado di immagazzinare, con una data differenza di potenziale ai suoi capi. Così, **un condensatore avente una capacità di 1 farad può immagazzinare la carica di 1 coulomb quando la differenza di potenziale è di 1 volt.** Espresso come equazione ciò diventa:

$$Q = CE$$

dove Q equivale alla quantità di elettricità immagazzinata in coulomb; C alla capacità del condensatore ed E alla differenza di potenziale in volt.

Da ciò si deduce che un condensatore piccolo può immagazzinare una carica inferiore a quella che può essere immagazzinata da un condensatore grande, a parità di tensione applicata.

In radiotecnica è praticamente impossibile avere a che fare con capacità del valore di 1 farad, in quanto una tale capacità risulta enorme; come precedentemente detto, vengono usati dei sottomultipli ossia il microfarad ed il micro-microfarad.

Per comodità di espressione sia grafica che verbale, l'unità di misura detta micro-microfarad indicata col simbolo « $\mu\mu F$ » è stata sostituita dal termine *picofarad* indicato col simbolo « pF ».

PORTATA di TENSIONE dei CONDENSATORI

Per la scelta o la sostituzione di un condensatore in un circuito per un determinato scopo, è necessario considerare **1)** il valore di capacità richiesto e **2)** l'ammontare della tensione alla quale il condensatore deve essere sottoposto. Se detta tensione è eccessiva, il materiale che costituisce il dielettrico può rompersi e bruciare. Il condensatore allora va in cortocircuito, ed il passaggio di c.c. che per conseguenza può verificarsi può danneggiare le altre parti dell'apparecchio o dispositivo. Per questo motivo i condensatori hanno una portata di tensione che non deve essere superata.

La tensione di lavoro di un condensatore è la massima tensione che può essere applicata in continuità senza danneggiarlo. Essa dipende **1)** dal tipo di materiale usato come dielettrico, nonchè **2)** dal suo spessore.

Come sappiamo, la capacità di un condensatore diminuisce con l'aumentare dello spessore del dielettrico; pertanto un condensatore per alta tensione — avente per necessità un dielettrico di notevole spessore — deve avere anche armature a superficie maggiore di quella di un condensatore della medesima capacità ma per tensione inferiore, il cui dielettrico è, ovviamente, più sottile.

La portata di tensione dipende infine anche dalla fre-

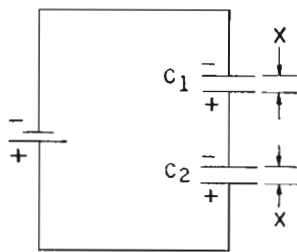
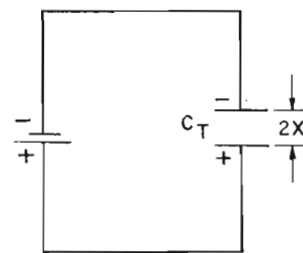



Fig. 4 — Se colleghiamo due condensatori in serie, C_1 e C_2, aventi ciascuno uno spessore « X » di dielettrico (figura A), avremo lo stesso effetto che se impiegassimo un condensatore unico, CT, con spessore del dielettrico (figura B) pari alla somma degli spessori (2X): in altre parole, minore capacità. Per contro, avremo una tensione ammissibile di lavoro molto più alta.

quenza, dato che le perdite ed il calore che da essa derivano aumentano con l'aumentare della frequenza della tensione applicata.

Un condensatore che possa funzionare in maniera appropriata con una differenza di potenziale di 500 volt c.c. non può funzionare con la medesima sicurezza se sottoposto ad una c.a. con un potenziale medio o efficace della medesima entità. In un circuito a c.a. sappiamo che la tensione sale da 0 al valore di picco due volte in ogni ciclo, pertanto è necessario prendere in considerazione tale valore massimo. Nel caso di cui sopra, poichè una tensione efficace di 500 volt ha un valore di picco di 707 volt, un condensatore che debba funzionare con 500 volt efficaci c.a. deve presentare una tensione di lavoro di almeno 750 volt. Il valore di picco che può raggiungere una c.c. pulsante è incerto; con tale tipo di tensione è procedura comune, per scegliere un condensatore, tenere il medesimo margine di sicurezza che si osserva per la c.a., ossia circa il 50% in più della tensione efficace. In ogni caso è opportuno assicurarsi sempre che la portata di tensione del condensatore sia maggiore di qualsiasi tensione presente nel circuito in cui esso deve essere impiegato.

CONDENSATORI in SERIE

Quando due o più condensatori vengono collegati in serie, la capacità totale è eguale a quella di un unico condensatore avente la massima superficie ma con un dielettrico di spessore maggiore. Si sa che, mantenendo costante la superficie, maggiore è lo spessore del dielettrico, minore è la capacità. Nel caso di condensatori collegati in serie, la capacità totale è inferiore a quella del condensatore avente la capacità minore.

La **figura 4-A** mostra due condensatori collegati in serie. In ognuno di essi lo spessore del dielettrico è *X*. L'effetto è il medesimo che avrebbe luogo se si eliminassero i due elettrodi interni, ed i due condensatori, *C1* e *C2* fossero sostituiti da un unico condensatore C_T avente la medesima superficie, ed un dielettrico di spessore pari alla somma degli spessori dei due condensatori, ossia *2X*, come nella sezione **B** della figura stessa.

La capacità totale di due o più condensatori in serie è data dalla seguente equazione:

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \ldots\ldots$$

Poichè, in effetti, lo spessore del dielettrico aumenta quando i condensatori vengono collegati in serie, la tensione di lavoro di tale combinazione aumenta anch'essa in proporzione. Teoricamente, la tensione di lavoro dovrebbe corrispondere alla somma delle tensioni di lavoro di ogni singolo condensatore. È però opportuno ricordare che le tensioni presenti ai capi dei condensatori si dividono in proporzione inversa alle loro capacità.

Consideriamo un condensatore da 0,1 microfarad in serie ad un altro da 0,2 microfarad, sotto una tensione alternata di 300 volt: il primo sviluppa ai suoi capi una tensione — supponiamo — di 200 volt, mentre il secondo sviluppa una tensione di 100 volt. Tuttavia, la tensione continua, eventualmente presente, si divide in proporzione diretta relativamente alla resistenza ohmica dei due dielettrici contemplati.

Poichè generalmente le qualità isolanti di un condensatore differiscono da quelle di un altro, anche se le due capacità sono eguali, la divisione della tensione continua può verificarsi in parti disuguali. Ciò è illustrato dal seguente esempio: supponiamo che due condensatori da 0,1 µF-500 volt, vengano collegati in serie sotto una tensione continua di 1.000 volt. Se la resistenza alla c.c. di uno di essi è di 45 Mohm e quella dell'altro è di 15 Mohm, la tensione presente ai capi del primo è il triplo di quella presente ai capi del secondo. Anche se ognuno di essi ha una tensione di lavoro di 500 volt, non è sicuro collegarli in serie e sottoporli ad una differenza di potenziale di 1.000 volt, in quanto il primo avrebbe ai suoi capi 750 volt, ed il secondo solo 250. Ciò significa che il condensatore con resistenza maggiore verrebbe deteriorato e che quindi l'intera tensione di 1.000 volt si troverebbe ai capi del secondo, deteriorandolo a sua volta. Tale inconveniente può essere ovviato collegando in parallelo ad ogni condensatore una resistenza di valore relativamente basso rispetto alla resistenza del condensatore, ad esempio di 1 Mohm.

Quando i condensatori vengono usati per bloccare un potenziale a c.c., la loro resistenza diventa un fattore molto importante. Ad esempio, la pratica insegna che per i condensatori di accoppiamento, la resistenza deve essere maggiore di 50 Mohm: se è inferiore, i condensatori devono essere sostituiti.

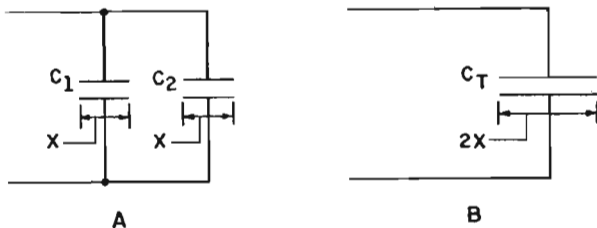



Fig. 5 — Collegando due condensatori in parallelo, C_1 e C_2, ciascuno con superficie « X » delle armature (figura A) avremo lo stesso effetto che se adottassimo un condensatore unico, CT, con superficie (figura B) pari alla somma delle superfici (2X): in altre parole, maggiore capacità. La tensione ammissibile di lavoro, rimane quella del condensatore a tensione più bassa.

Fig. 6 — Portando il commutatore dalla posizione « 2 » alla « 1 » (figura A) si attua la carica del condensatore con la tensione della batteria. La corrente di carica, massima al primo istante, scende poi gradualmente (figura B) in quanto ai capi del condensatore si forma una tensione opposta a quella della batteria. La carica cessa quando le due tensioni risultano eguali.

CONDENSATORI in PARALLELO

Il collegamento dei condensatori in parallelo, corrisponde in realtà ad un aumento della superficie delle armature (**figura** 5). Poichè all'aumento della superficie corrisponde un aumento della capacità, la capacità totale è data dalla somma delle capacità individuali. Così si ha:

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 + \ldots\ldots$$

Si noti che, mentre **i condensatori in serie si comportano nei loro valori come le resistenze in parallelo, i condensatori in parallelo si comportano viceversa come le resistenze in serie.**

La tensione limite di deterioramento dei condensatori in parallelo non supera quella del condensatore presente nel gruppo avente la più bassa tensione di isolamento.

I CONDENSATORI nei CIRCUITI a C.C.

Abbiamo già visto gli effetti di un campo magnetico in un circuito induttivo. Quando una corrente continua viene applicata improvvisamente ad una bobina, il campo magnetico che si espande fa sì che la corrente sia in ritardo rispetto alla tensione. Sappiamo che si sviluppa un potenziale opposto, proporzionale alle variazioni di corrente, che raggiunge un valore massimo quando dette variazioni avvengono molto rapidamente. Sappiamo anche che, analogamente, quando il campo magnetico cessa di colpo, la corrente decresce in maniera esponenziale e raggiunge gradatamente il valore zero, in quanto la f.e.m. opposta tende a mantenerla in azione. A causa di ciò, un'induttanza si oppone a qualsiasi variazione della corrente che la percorre. Essa oppone la maggiore reattanza nel primo istante in cui la tensione viene applicata, perchè è allora che la corrente subisce la più rapida variazione.

L'effetto di un condensatore è l'opposto di quello di un'induttanza. Esso permette il passaggio di una corrente solo quando varia la tensione presente ai suoi capi. Quando un condensatore viene collegato ad una batteria, la corrente che si manifesta al primo istante ha la massima intensità perchè esso non contiene alcuna carica che si opponga al potenziale della sorgente.

Consideriamo ora il circuito in serie della **figura 6-A.** Quando il deviatore è in posizione *2*, le cariche sulle armature del condensatore sono reciprocamente neutre, esso è scarico e la tensione ai suoi capi è zero. Quando invece lo si commuta in posizione *1*, il condensatore comincia a caricarsi. Nel primo istante esso oppone una reattanza talmente bassa da costituire praticamente un cortocircuito; poichè l'unica opposizione al passaggio della corrente è la resistenza, la corrente sale immediatamente al valore $E:R$. È opportuno notare che, durante la carica del condensatore, la corrente è massima nel primo istante, come si è detto, ma scende poi gradatamente a zero — (vedi figura 6-**B**). Man mano che il condensatore si carica, ai suoi capi si forma una tensione opposta a quella della batteria. Tale tensione quindi si oppone al passaggio di corrente; questa, di conseguenza, diminuisce gradatamente con l'aumentare della tensione. Quando infine la tensione prodottasi raggiunge il valore di quella della batteria, la corrente cessa di scorrere (figura 6-**B**).

Portiamo ora il deviatore in posizione *2*. Dal momento che il condensatore è completamente carico ad una tensione pari a quella della batteria, la corrente si scarica, in direzione opposta, attraverso la resistenza. La corrente di scarica ha la massima intensità nell'istante in cui il deviatore chiude il circuito: questo massimo di corrente ha la medesima entità della corrente massima di carica.

Si noti che la corrente di scarica scorre in direzione opposta a quella di carica; essa continua a scorrere diminuendo gradatamente fino alla scomparsa della carica, come è mostrato dalle curve di tensione e di corrente della figura 6-**C**.

La forma o andamento della curva di carica è identica a quella della curva di scarica, ed è nota col nome di curva esponenziale.

Come è illustrato dalla figura 6, quando una sorgente di c.c. viene improvvisamente collegata ad un circuito capacitivo, la tensione presente ai capi del condensatore non raggiunge il valore massimo immediatamente ma gradatamente.

Il tempo che è necessario affinchè il potenziale del condensatore raggiunga quello della sorgente, dipende dalla resistenza del circuito e della capacità del condensatore. La resistenza in serie presente nel circuito di figura 6, limita il massimo ammontare di corrente che può scorrere. Per questo la resistenza rappresenta un fattore della

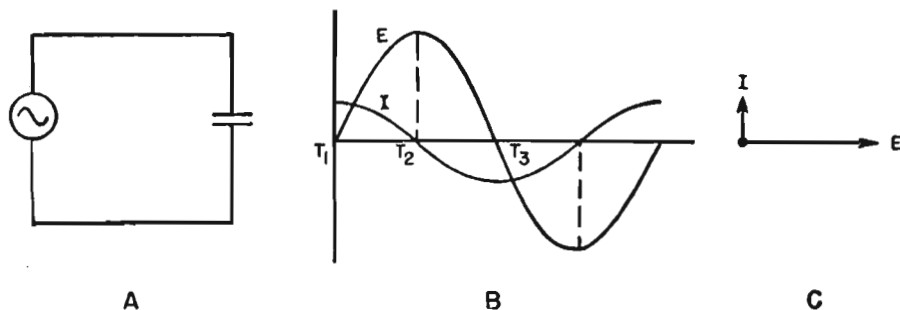



Fig. 7 — Una sorgente di corrente alternata (figura A) fornisce la tensione « E » (figura B) ad un condensatore. Nell'istante « T_1 » la tensione è a zero (e la corrente è al suo massimo valore), in « T_2 » il massimo è raggiunto da « E » (e la corrente è a zero): si ripetono poi le posizioni con la semionda negativa. Ne risulta che la corrente anticipa di 90°, così come dimostra la rappresentazione vettoriale alla figura C.

massima importanza agli effetti del tempo di carica e della scarica del condensatore stesso.

Ricordiamo che il prodotto dei valori di resistenza (in ohm) e della capacità (in farad) si chiama costante di tempo del circuito: è espressa in secondi, e, come è noto, rappresenta il tempo necessario affinchè la tensione presente ai capi del condensatore raggiunga il 63,2% della tensione applicata.

I CONDENSATORI nei CIRCUITI a C.A.

Come abbiamo spiegato precedentemente, un condensatore in serie in un circuito a c.c. blocca la corrente ad eccezione di ciò che riguarda la corrente istantanea di carica che ha luogo appena il deviatore viene chiuso. In un circuito a c.a. invece, dal momento che tanto la tensione quanto la corrente variano continuamente e si invertono periodicamente, si ha un passaggio costante di corrente.

Nella **figura 7-A**, viene illustrata una sorgente di c.a. in serie ad un condensatore. L'uscita sinusoidale *E* dell'alternatore è visibile nella sezione **B** della figura. Nell'istante T_1, *E* è zero (è però in procinto di raggiungere il suo massimo valore) pertanto la corrente *I* ha in quel momento il suo valore massimo.

Nell'istante T_2 invece *E* è al massimo (ma tende poi a ridursi a zero) per cui il valore della corrente attraverso la capacità è zero. Nell'istante T_3, *E* è nuovamente zero (ma tende verso il massimo valore in direzione negativa) per cui la corrente ha il massimo valore negativo. È da notare che la corrente *I* del circuito oltre ad essere sinusoidale, è in anticipo di 90° rispetto ad *E*. La sezione **C** della figura illustra la rappresentazione vettoriale.

In un circuito capacitivo la corrente anticipa di 90° rispetto alla tensione. Ciò è esattamente l'opposto di quanto accade in un circuito induttivo in cui, viceversa, la tensione è in anticipo di 90° rispetto alla corrente.

Un buon sistema per ricordare le relazioni di fase tra corrente e tensione nei due casi, consiste nel ricordare le due sillabe « **ELI** » ed « **ICE** ».

Nella sillaba « *ELI* » la lettera in centro « *L* » rappresenta l'induttanza. La « *E* » è prima della *I*, significando che la tensione, *E*, precede la corrente, *I*, attraverso una induttanza.

Nella sillaba « *ICE* », la lettera in centro « *C* » rappresenta la capacità. La « *I* » è prima della « *E* », significando che la corrente, *I*, precede la tensione *E*, attraverso una capacità.

REATTANZA CAPACITIVA

La capacità, pur permettendo il passaggio della corrente alternata, offre alla stessa una certa opposizione. L'opposizione dovuta alla capacità di un circuito, costituisce la **reattanza capacitiva.** L'unità di misura della reattanza capacitiva è l'ohm, ed il simbolo è *X*. Come abbiamo visto, il passaggio di corrente in un circuito capacitivo dipende dal valore della capacità, dal rapporto di variazione della tensione applicata, e dall'ampiezza di tale tensione. A sua volta, il rapporto di variazione della tensione dipende dalla frequenza. Pertanto:

$$I = 2\pi FCE$$

nella quale *I* è la corrente in ampère, *F* la frequenza in Hertz (cicli al secondo), *C* la capacità in farad ed *E* la tensione applicata in volt.

Sappiamo che: $\omega = 2\pi F$

per cui:

$$I = \omega CE$$

Il rapporto della tensione ai capi di un condensatore rispetto alla corrente che lo attraversa costituisce l'opposizione da parte dello stesso, ossia la reattanza capacitiva, X_c, in ohm. Quindi:

$$X_c = \frac{E}{I} = \frac{E}{\omega CE} = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi FC}$$

È da notare che X_c è inversamente proporzionale alla frequenza ed anche alla capacità, ossia con l'aumentare della frequenza o della capacità, minore è la reattanza, e quindi maggiore è la corrente che passa.

RESISTENZA e CAPACITA' in SERIE

L'opposizione totale alla corrente in un circuito in serie formato sia da una capacità che da una resistenza, non è che la combinazione della resistenza *R* e della reattan-

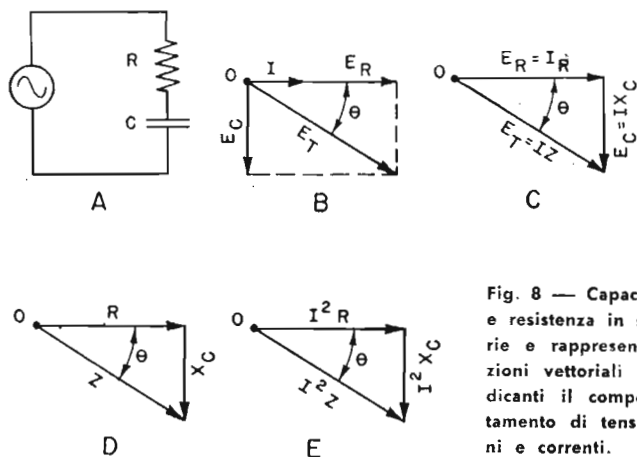
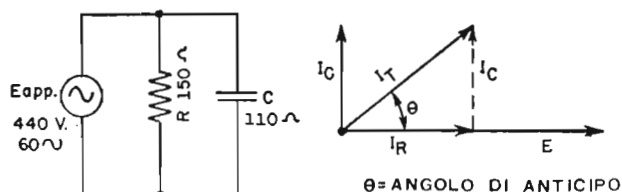



Fig. 8 — Capacità e resistenza in serie e rappresentazioni vettoriali indicanti il comportamento di tensioni e correnti.

Fig. 9 — Capacità e resistenza in parallelo. Rispetto al vettore « E » della tensione applicata, la corrente « IR » è in fase, perciò a zero gradi: la corrente « IC » invece è in anticipo di 90°. Risolvendo rispetto al triangolo, si ottiene la corrente totale « IT » e poscia l'impedenza « ZT ».

za capacitiva X_c, e costituisce l'impedenza, la quale viene anch'essa misurata in ohm.

Consideriamo una capacità ed una resistenza collegate in serie ad un alternatore (**figura 8-A**). In un circuito in serie la corrente è eguale in tutti i punti, sia in intensità che in fase; tuttavia, le cadute di tensione ai capi dei due citati componenti non sono identiche. Inoltre sono reciprocamente sfasate di 90°.

La tensione E è in fase con I attraverso R, mentre la tensione E ai capi di C è in ritardo rispetto ad I di 90°. Tali tensioni sono rappresentate nella figura come diagrammi vettoriali polari; I costituisce il vettore orizzontale di riferimento.

Dal momento che le tensioni sono sfasate, esse devono essere sommate vettorialmente onde ottenere il valore totale. Come si vede sul diagramma vettoriale (Sez. **C**), la tensione vettoriale E_T, costituisce l'ipotenusa di un triangolo rettangolo di cui E_R ed E_C costituiscono a loro volta i cateti. Si ha:

$$E_T = \sqrt{E_R^2 + E_C^2}$$

L'impedenza di un circuito in serie di questo tipo può essere calcolata in base alla tensione totale, E_T, ed alla corrente di linea, I, ossia:

$$Z = \frac{E_T}{I}$$

Supponiamo ora di rappresentare le tensioni presenti ai capi dei due componenti in funzione delle relative cadute di tensione, ossia la caduta di tensione ai capi della resistenza (pari ad IR) e la caduta ai capi del condensatore (pari a IX_c). La tensione totale è IZ (figura 8-C).

Dal momento che I è comune ad entrambi i fattori, è possibile eliderla e quindi ricavare una equazione che permetta di calcolare il valore dell'impedenza, come segue:

$$IZ = \sqrt{(IR)^2 + (IX_c)^2}$$

$$IZ = \sqrt{I^2 (R^2 + X_c^2)} = I\sqrt{R^2 + X_c^2}$$

da cui:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_c^2}$$

L'ultima equazione esprime l'impedenza del circuito in funzione della resistenza e della reattanza capacitiva, ed è molto importante: in essa Z, R ed X_c sono espresse in ohm.

RESISTENZA e CAPACITA' in PARALLELO

In qualsiasi circuito in parallelo la tensione presente ai capi di tutti i componenti è la medesima; pertanto, nella rappresentazione vettoriale, si usa il valore della tensione come riferimento.

La **figura 9** illustra una capacità ed una resistenza in parallelo tra loro, collegate ad un generatore di corrente alternata.

La corrente che scorre nella resistenza è in fase rispetto al potenziale applicato, ed è rappresentata a 0° in corrispondenza del vettore, E, tensione applicata. La corrente che passa attraverso il condensatore è invece in anticipo di 90° rispetto alla tensione, ed è rappresentata a 90° in senso antiorario rispetto alla tensione. Prendendo I_T come ipotenusa, si traccia un triangolo rettangolo, e, risolvendo geometricamente rispetto alla corrente totale:

$$I_T = \sqrt{I_R^2 + I_C^2}$$

L'impedenza della combinazione in parallelo, Z_t è data da:

$$Z_T = \frac{E \text{ applicata}}{I_T}$$

CAPACITA' e INDUTTANZA DISTRIBUITE

Negli apparecchi radio, oltre all'induttanza ed alla capacità intrinseche rispettivamente degli avvolgimenti e dei condensatori, vi sono effetti distribuiti, sia di induttanza che di capacità, introdotti dai conduttori di collegamento, dai commutatori, dagli zoccoli di collegamento e da altri componenti. Queste capacità ed induttanze distribuite acquistano notevole importanza nel campo delle radiofrequenze.

Con l'aumentare della frequenza del segnale applicato, la reattanza capacitiva diminuisce ed offre minore opposizione al passaggio della corrente. Nel campo delle alte frequenze può verificarsi la presenza di forti correnti nei punti in cui a frequenze basse scorrono correnti trascurabili.

La reattanza induttiva aumenta in proporzione diretta rispetto alla frequenza. Un comune pezzo di filo, la cui reattanza induttiva è del tutto trascurabile alle frequenze basse, può avere, rispetto alle frequenze alte, una reattanza induttiva talmente alta da neutralizzare il funzionamento di un circuito.

CONDENSATORI

Il condesatore tipico, e cioè quello ad armature parallele, di cui ci siamo occupati nella lezione precedente subisce, nella pratica realizzazione, svariate ed importanti modifiche al fine di meglio ottemperare alle infinite necessità che si presentano nei circuiti.

I condensatori di normale produzione industriale si dividono anzitutto — già lo sappiamo — in due classi principali: condensatori **fissi** e condensatori **variabili**.

I primi vengono utilizzati nei casi in cui occorre la presenza di una capacità costante in ogni momento del funzionamento, mentre i secondi hanno un impiego limitato a quei casi in cui occorre disporre, in tempi diversi, di capacità di vario valore, con possibilità di variazione rapida e semplice del valore.

I condensatori fissi vengono individuati e distinti generalmente con riferimento alla natura del materiale che costituisce il dielettrico; i condensatori variabili — che hanno quasi sempre per dielettrico l'aria — a seconda del loro impiego.

I primi comprendono pertanto i tipi a carta, ad olio, a carta-olio, a mica, a materiale plastico, nonchè i tipi ceramici ed elettrolitici. I secondi si dividono in condensatori di sintonia, compensatori, semifissi (o semivariabili), condensatori di neutralizzazione.

Come vedremo in seguito, esiste, per certi condensatori fissi — così come per le resistenze — un codice di colori in base al quale, opportunamente segnando il condensatore è possibile sempre una rapida individuazione della sua capacità.

CONDENSATORI a CARTA PARAFFINATA

Il condensatore a carta paraffinata è un componente di largo impiego più che altro in campo telefonico nei tipi ad alto valore capacitivo, ma trova anche vasta applicazione, nelle capacità comprese tra 0,0001 μF ed 1 μF, nel ramo radio.

La carta paraffinata ha una costante dielettrica pari a 3,5 ed una tensione di perforazione variabile da 1.200 a 1.800 volt per uno spessore di 0,24 mm. In questo tipo di condensatore, le armature sono costituite da lunghe strisce metalliche, separate tra loro da carta paraffinata, ed avvolte in modo da costituire un corpo solido, compatto, di forma cilindrica o appiattita. Naturalmente, è necessario l'impiego di più di uno strato isolante al fine di evitare che le eventuali imperfezioni della carta favoriscano la perforazione; i tipi così realizzati vengono normalmente usati nei casi in cui la tensione di lavoro non supera i 600 volt. È inoltre opportuno notare che, essendo gli elettrodi avvolti a spirale, ciascuno di essi ha due superfici attive, in quanto ognuna delle facce di un elettrodo viene contrapposta ad una dell'altro: la superficie attiva corrisponde così a quella del doppio della superficie di un elettrodo.

La **figura 1** illustra le caratteristiche costruttive interne del condensatore a carta del tipo appiattito, e la **figura 2**, relativa anch'essa ad un condensatore a carta, mostra la costituzione di un tipo cilindrico. Sottili strisce metalliche sporgono leggermente da entrambi i lati, e, più esattamente, una per ogni estremità. In tal modo è possibile saldare i terminali di collegamento ad ogni spira — e non solo ad un capo — evitando che i due elettrodi, avvolti parallelamente come una induttanza, si comportino anche come tale, il chè rappresenterebbe un inconveniente ai fini funzionali. La saldatura contemporanea di tutte le spire costituisce un cortocircuito totale che neutralizza l'effetto induttivo. Tale tipo di condensatore viene perciò definito come *non induttivo* o *anti induttivo*.

Il pacchetto così costituito viene quindi racchiuso in un involucro di materiale isolante o di metallo internamente isolato, e sigillato mediante cera o catrame onde evitare la penetrazione dell'umidità e della polvere.

Generalmente, i soli condensatori aventi una polarità determinata sono gli elettrolitici (a dielettrico liquido o gelatinoso): con essi occorre rispettare la polarità indicata, ed è già più che evidente da ciò, che questo tipo si presta solo all'impiego con corrente continua. Qualsiasi altro tipo di condensatore può essere collegato in derivazione (in parallelo) ad una sorgente di c.a. o di corrente pulsante, indipendentemente dalla polarità. Tuttavia, i comuni condensatori fissi che vengono normalmente impiegati nei circuiti a c.a. a frequenza relativamente elevata, portano un contrassegno che distingue il lato corrispondente all'elettrodo esterno; tale contrassegno è posto su uno dei collegamenti terminali, o è costituito da un anello di colore scuro posto su una estremità dell'involucro. Esso ha lo scopo di assicurare che l'elettrodo esterno venga collegato a massa, poichè in tal modo l'armatura esterna agisce da schermo nei confronti dell'intero condensatore: diversamente, se venisse collegato a massa l'elettrodo interno, quello esterno presenterebbe, libero elettrostaticamente, tutto il potenziale della tensione alternata applicata e potrebbe di conseguenza influenzare i circuiti posti nelle sue immediate vicinanze.

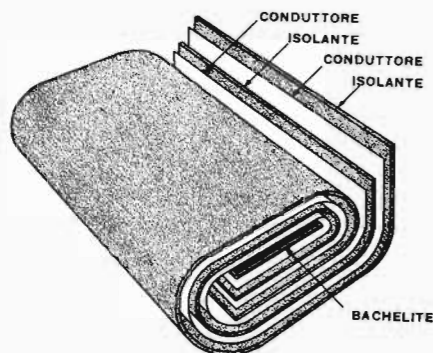



Fig. 1 — Elementi costituenti un condensatore a dielettrico carta. Avvolgimento a pacchetto piatto.

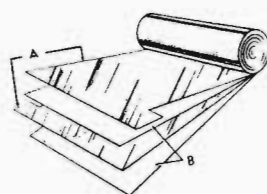



Fig. 2 — Condensatore a carta di tipo cilindrico. Con « A » vengono indicate le due strisce metalliche costituenti le armature e con « B » i fogli di carta dielettrico.

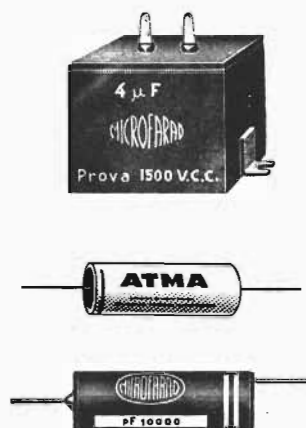



Fig. 3 — Esecuzioni diverse di condensatori a carta. Quello in alto, a destra, è del tipo « ad olio ».

Naturalmente, il contrassegno di cui sopra perde tale utilità se il condensatore è racchiuso in un involucro metallico; quest'ultimo, collegato a massa, agisce egualmente da schermo.

La **figura 3** mostra diversi tipi di condensatori a carta, nei quali si notano le varie soluzioni per gli involucri, per i terminali e per il contrassegno dell'armatura esterna.

CONDENSATORI ad OLIO

I condensatori destinati al funzionamento con tensioni relativamente alte (oltre 600 volt), come ad esempio per gli impieghi nei radio trasmettitori, sono spesso del tipo ad olio. Dalla tabella apposita relativa alle caratteristiche dielettriche dei vari materiali, si noterà che la tensione di perforazione dell'olio è considerevolmente inferiore a quella della carta; tuttavia, se quest'ultima viene *impregnata di olio,* acquista una caratteristica dielettrica molto migliore, ed allora può essere utilizzata nella costruzione di condensatori atti a funzionare con tensioni comprese tra 600 e 2.000 volt. Quando tali condensatori devono sopportare forti correnti, è opportuno che vengano posti in ambienti a temperatura piuttosto bassa, o comunque lontano dalle sorgenti di calore.

Un particolare interessante è costituito dal fatto che i tipi di condensatori a carta relativamente costosi, adatti a tensioni abbastanza alte, vengono *immersi* in olio allo scopo di evitare l'infiltrazione dell'umidità, onde prevenire le ossidazioni ed i cortocircuiti, e vengono perciò chiamati *condensatori ad olio,* pur essendo l'olio stesso un mezzo di chiusura, e non il dielettrico. L'olio contribuisce alla costanza della capacità ed alla resistenza alla perforazione dovuta eventualmente all'acqua salata o all'influenza dei climi tropicali.

In pratica, i condensatori ad olio assomigliano a quelli a carta, e devono portare un contrassegno che li distingue: il tipo più alto tra quelli illustrati nella figura 3, è ad olio.

I grossi condensatori per trasmettitori, nei quali si impiega a volte anche il vetro come dielettrico, vengono spesso immersi in olio onde evitare lo scintillio tra gli elettrodi o tra i terminali, dovuto alla alta tensione di esercizio.

CONDENSATORI a MICA

I condensatori a mica vengono usati generalmente per ottenere capacità comprese tra 5 pF (picofarad) e 50.000 pF (cioè da 0,000005 a 0,05 μF). Il loro impiego è riservato ai circuiti ad Alta Frequenza.

Dal momento che la costante dielettrica supera di 5 o 6 volte quella dell'aria, e che la sua tensione di perforazione è molto più alta (circa 2.000 volt con spessore di 0,02 mm) questo materiale, pure essendo piuttosto costoso, viene usato anche per i condensatori per Alta Frequenza ad alta tensione (fino a 7.500 volt). Le dimensioni di questi condensatori risultano piccole in confronto a quelle di condensatori della medesima capacità e tensione di perforazione del tipo a carta. La **figura 4** mostra la sezione di un tipico condensatore a mica ad alta capacità: sono visibili i dettagli costruttivi interni. In esso si trovano strati alternati di mica e sottili fogli metallici, pressati e racchiusi in un involucro di bachelite o di matera plastica, ottenendosi così una buona compattezza e solidità.

Alcuni condensatori a mica di uso commerciale e di tipo economico — allorchè si tratta di capacità non superiori a 2.000 pF — sono costituiti da tre fogli di mica di cui i due esterni agiscono da protezione, e quello interno da dielettrico rispetto a due strati di deposito metallico distribuito sulle sue due facciate. Gli strati non coprono l'intera superficie, bensì ognuno di essi lascia libero per qualche millimetro un lato per permettere il fissaggio di un rivetto al quale va unito il terminale di collegamento. I due rivetti — ognuno dei quali è in contatto con un elettrodo — fermano contemporaneamente i due fogli esterni, i quali, a montaggio ultimato, vengono rivestiti di una vernice protettiva che reca, stampigliati, i valori di capacità e di isolamento, o in cifre o secondo un codice colorato.

La **figura 5** illustra un certo numero di condensatori a mica. È possibile rilevare le forme essenziali che distinguono le varie esecuzioni, nonchè i tipi dei terminali, che possono essere costituiti da fili da saldare, da rivetti o da viti con dado.

CONDENSATORI CERAMICI

L'uso sempre maggiore delle frequenze molto alte, particolarmente nel campo della televisione e delle co-

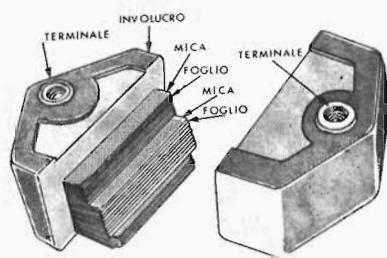



Fig. 4 — Condensatore a mica, di elevata capacità, sezionato per illustrare la struttura interna. Si può vedere la disposizione dei fogli di mica e dei fogli metallici.

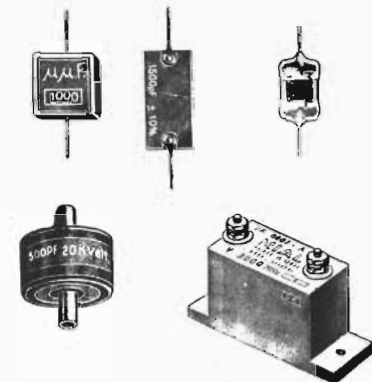



Fig. 5 — Esecuzioni diverse di condensatori a mica per impieghi in ricevitori e trasmettitori.

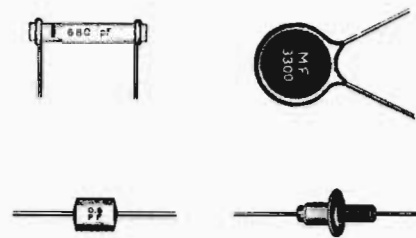



Fig. 6 — Alcuni tipi di condensatori a dielettrico ceramico, per usi in apparecchi riceventi. Vengono costruiti anche modelli ad elevata tensione di esercizio per impiego con forti correnti. I condensatori ceramici sono preferiti nei circuiti a frequenze elevate, date le basse perdite che li caratterizzano in tali applicazioni.

municazioni ad onde ultra corte, ha portato allo sviluppo dei condensatori ceramici. Essi vengono quasi sempre usati per capacità molto piccole, comprese tra 0,5 e 250 pF (0,0000005 µF e 0,00025 µF). Generalmente, tali condensatori sono realizzati con dischetti di materiale ceramico il quale costituisce il condensatore stesso agendo da dielettrico e da supporto nel medesimo tempo, oppure da piccoli cilindri del medesimo materiale. I terminali sono fissati su entrambe le estremità del cilindro, o sulle due superfici del dischetto, le quali vengono cosparse di vernice d'argento. Nel tipo cilindrico la vernice metallica viene distribuita sulle due superfici, interna ed esterna; in tal modo i due strati di vernice costituiscono le armature mentre il materiale ceramico costituisce il dielettrico. A causa delle loro dimensioni, della forma e dell'espressione del valore mediante un codice colorato, questi condensatori vengono a volte confusi con le resistenze alle quali molto assomigliano.

Anche i condensatori ceramici — così come quelli a mica — si prestano all'uso per la realizzazione di apparecchi aventi in giuoco una certa potenza, i cui circuiti funzionano spesso con tensioni molto alte. Il loro uso, in tal caso, è particolarmente esteso, ad esempio, nei trasmettitori. I tipi illustrati alla **figura 6** sono alcuni esemplari tra i più comuni per applicazioni nei ricevitori.

CONDENSATORI ELETTROLITICI

Nello studio delle batterie a secco abbiamo visto come uno dei loro inconvenienti consista nel fatto che l'elettrodo positivo si polarizza; su di esso si formano bollicine di idrogeno le quali, agendo da isolante, troncano il passaggio della corrente attraverso la soluzione elettrolitica. Dal momento che questa pellicola gassosa costituisce un isolante tra due conduttori, una batteria completamente polarizzata può essere considerata come un condensatore. Una reazione analoga sta alla base del principio di funzionamento dei cosidetti condensatori elettrolitici. Se due elettrodi di alluminio vengono immersi in una soluzione elettrolitica adatta, come ad esempio di borace (tetraborato di sodio) e collegati ad una sorgente di corrente continua, su quello positivo si deposita una sottile pellicola di ossido la quale, dopo alcuni minuti, costituisce uno strato isolante che tronca il passaggio della corrente; in tal modo si crea un *condensatore elettrolitico*. La **figura 7** illustra la sezione di un condensatore elettrolitico tipico nel quale l'involucro agisce da terminale negativo, mentre l'elettrodo positivo si trova al centro. Poichè su quest'ultimo si forma lo strato isolante, la soluzione presente tra i due, eminentemente conduttiva, si comporta essa stessa come elettrodo negativo col quale è in diretto contatto. Da ciò si deduce che la denominazione di condensatore elettrolitico è impropria, in quanto l'elettrolita funge da elettrodo e non da dielettrico, ed il secondo elettrodo d'alluminio, costituente l'involucro, funge unicamente da conduttore per il collegamento. Se la sorgente c.c. viene invertita di polarità, la corrente scorre finchè si è formata una pellicola sul secondo elettrodo. I condensatori elettrolitici — dato il fenomeno di formazione ora esposto — sono polarizzati; essi sono molto efficaci nei circuiti a c.c. pulsante, ossia essenzialmente a c.c. con una componente di c.a. I condensatori elettrolitici destinati all'uso con corrente alternata impiegano elettrodi entrambi ossidati precedentemente: in tal modo si ottiene una caratteristica isolante in entrambi i sensi.

La pellicola di ossido che si forma sull'elettrodo positivo di un condensatore elettrolitico, ha generalmente uno spessore inferiore a 25 millesimi di millimetro, e può sopportare tensioni dell'ordine di 500 volt. Poichè la capacità dipende dalla distanza tra le armature — oltre che dalla loro superficie — è facile dedurre che, grazie alla straordinaria sottigliezza della pellicola dielettrica, è possibile realizzare condensatori elettrolitici di capacità molto superiore a quella di condensatori di altro tipo delle medesime dimensioni. Inoltre, la tensione di perforazione dello strato di ossido è leggermente più alta del valore normale della tensione usata per l'alimentazione degli apparecchi radio, per cui tali condensatori trovano ampio impiego nei circuiti a tensione relativamente bassa (inferiore a 600 volt) come ad esempio nei filtri di alimentazione, la cui tensione continua pulsante a bassa frequenza richiede forti capacità per la produzione di corrente effettivamente continua.

In aggiunta a quanto detto fino ad ora precisiamo che la tensione di perforazione di un condensatore elettrolitico è determinata dalla tensione a c.c. applicata agli elettrodi al momento della fabbricazione per produrre lo

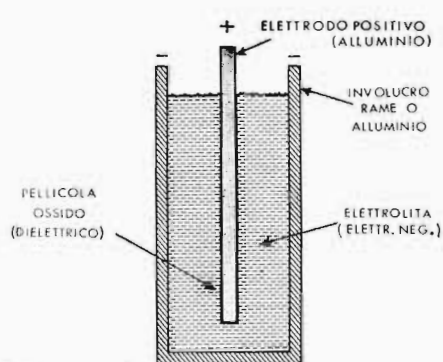



Fig. 7 — La figura illustra un condensatore elettrolitico, nei suoi elementi caratteristici: elettrodi, elettrolita e pellicola d'ossido costituente il dielettrico.

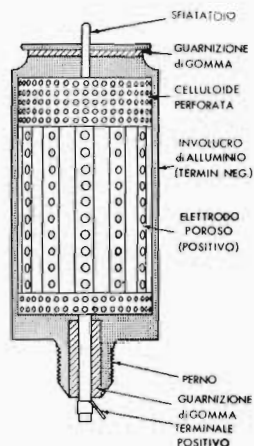



Fig. 8 A — Condensatore elettrolitico a liquido, visto in sezione. Questo tipo di costruzione è oramai abbandonato per i suoi inconvenienti.

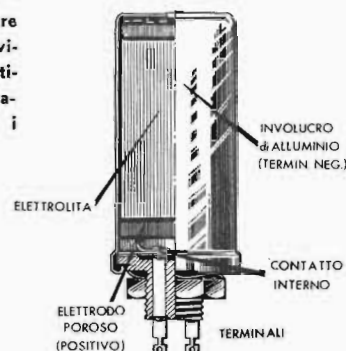



Fig. 8 B — Elettrolitico di moderna costruzione. Viene detto a secco, in quanto l'elettrolita non è liquido, come nel tipo a fianco, bensì gelatinoso.

strato di ossido (formazione). Se tale tensione è bassa, lo strato è molto sottile e la capacità molto alta. Ad esempio, un condensatore tipico usato per alimentazione a tensione molto bassa, può avere una capacità di 2.000 µF con una tensione di 20 volt. Se invece si usa nella fabbricazione una tensione più alta, lo strato di ossido è di spessore maggiore, per cui la capacità è inferiore a parità di superficie, mentre è maggiore la tensione di lavoro. Tuttavia, la massima tensione è, come si è detto, approssimativamente di 500 volt, in quanto non è possibile produrre strati di ossido di spessore maggiore. La tensione di perforazione può essere portata ad un massimo di 600 volt in relazione alla purezza chimica degli elettrodi e dell'elettrolita; il progresso intervenuto nella tecnologia di questi organi, in questi ultimi anni, ha reso correnti questi ultimi tipi, una volta eccezionali perchè troppo costosi.

Poichè il vantaggio principale dei condensatori elettrolitici consiste nella possibilità di avere grandi capacità con piccole dimensioni, si è compiuto ogni sforzo per aumentare la superficie dell'elettrodo positivo. Come sappiamo quello negativo è costituito dall'elettrolita stesso. L'elettrodo positivo può essere formato da un rotolo di alluminio sottile, la cui superficie può essere pieghettata, corrugata o corrosa allo scopo di aumentarne l'area. Per questo motivo gli elettrodi positivi vengono prefabbricati in quanto ogni irregolarità della superficie provoca una superficie di contatto maggiore nei confronti dell'elettrolita che aderisce in ogni punto. Uno strato di celluloide perforata o di altro materiale isolante analogo, viene inserito tra gli elettrodi onde evitare che l'elettrodo positivo vada in diretto contatto con quello negativo formando così un cortocircuito.

La **figura 8-A** illustra la sezione di un elettrolitico vecchio tipo, a liquido, mentre nella sezione **B** si nota la forma porosa dell'elettrodo positivo e quella tubolare dell'involucro in una realizzazione più moderna.

I cosidetti elettrolitici a liquido ora descritti presentano alcuni inconvenienti agli effetti pratici, in quanto l'elettrolita, liquido, richiede la presenza di un foro superiore che permetta l'uscita dei gas che si sviluppano. A causa di tale foro il condensatore può essere montato, ovviamente, solo in posizione verticale, ed è necessario fare molta attenzione a che il liquido non si disperda. Per questo motivo i condensatori **elettrolitici a secco** hanno trovato un campo di applicazione più esteso.

In questo tipo, l'elettrodo positivo ed il terminale di collegamento negativo sono generalmente sottili strisce di alluminio separate da un materiale *gelatinoso* costituente l'elettrolita, supportato da una striscia di garza, di carta, o di altro materiale analogo. L'elettrodo positivo viene formato mediante un processo elettro-chimico che lo ricopre di una pellicola di ossido estremamente sottile. Questo ossido-dielettrico conferisce all'elettrodo un aspetto poroso, in contrasto con l'aspetto del terminale negativo che rimane invece levigato e lucido.

L'elettrodo negativo, così come nei condensatori a liquido, è l'elettrolita. La sezione **A** della **figura 9** mostra i particolari del principio realizzativo. L'elettrodo positivo del condensatore, che è a diversi strati, viene tagliato in sezioni alle quali vengono collegati dei terminali separati; il terminale negativo e l'elettrolita sono in comune a tutte le sezioni, come è visibile nella sezione **B.** Sia nei tipi a sezione unica che in quelli a varie sezioni, le strisce sono avvolte e racchiuse in un involucro di materiale impermeabile o di metallo, analogamente ai condensatori a carta precedentemente descritti. Dal momento che l'elettrolita non ha possibilità di uscita, il condensatore può essere montato in qualsiasi posizione, per cui si presta a qualsiasi realizzazione compatta. Sono inoltre impiegati speciali elettrodi positivi che permettono di ottenere capacità molto alte con dimensioni veramente ridotte. La **figura 10** illustra vari tipi di condensatori elettrolitici.

Un altro inconveniente dei condensatori elettrolitici — sia a secco che a liquido — consiste nella notevole perdita di potenza nei confronti dei tipi a carta. In teoria, un condensatore dovrebbe opporre una reattanza infinita alla c.c., ma, poichè non esiste un dielettrico perfettamente isolante, la resistenza alla c.c. è definita, ossia ha un valore alto ma non trascurabile. Essa costituisce pertanto una perdita stabile di potenza a causa del passaggio di corrente; un buon condensatore elettrolitico ha una resistenza alla c.c. lievemente superiore ad 1 Mohm, assai bassa quindi in confronto a quella minima di 200 Mohm di un buon condensatore a carta.

Tale resistenza comporta una costante perdita di corrente, e quindi una lieve dissipazione di potenza attraverso il condensatore. Come si è già detto, i condensatori elettrolitici nonostante ciò, sono correntemente impiegati nei circuiti di alimentazione perchè tali lievi perdite in detti circuiti sono facilmente sopportabili.

Fig. 9 A — Nei condensatori elettrolitici a secco, l'elettrolita è trattenuto da una garza posta tra i due elettrodi: il dielettrico è sempre la sottile pellicola di ossido formata sull'elettrodo positivo.

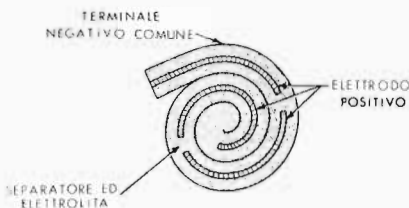



Fig. 9 B — Spesso si hanno varie sezioni con negativo ed elettrolita in comune: gli elettrodi positivi fanno capo a distinti morsetti o linguette di collegamento.

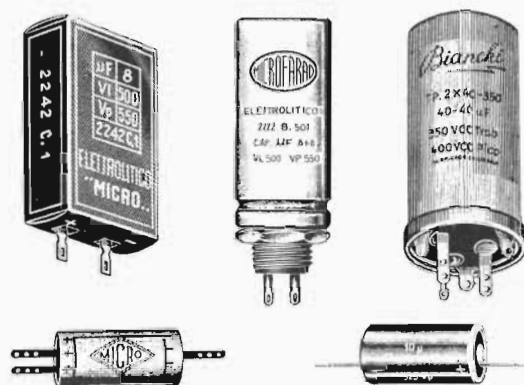



Fig. 10 — Alcune tra le forme più correnti di elettrolitici.

Nei circuiti di filtraggio degli alimentatori di piccola potenza, quando cioè i condensatori hanno il compito di livellare la corrente pulsante restituendo negli intervalli di pausa la corrente di carica, i tipi più comuni sono quelli da 8 μF o da 16 μF, isolati fino a 500 volt. Altri valori tipici sono 16 e 32 μF, a 350 volt; 20; 20+20; 50+50 μF a 200 volt: questo ultimo tipo, a due capacità, è quello convenzionale usato nei cosidetti ricevitori per c.c. e c.a., e funziona con una tensione di lavoro pari a quella della rete.

Sono comuni anche altri tipi a tensione molto bassa, come ad esempio quelli da 10, da 25, da 50, da 100 e da 200 μF a 30 volt, e quelli da 500, 1.000 e da 2.000 μF a 10 o 12 volt.

Ogni tipo di condensatore, sia a cartuccia (in involucro di cartone paraffinato), o a pacchetto, o anche in involucro metallico con fissaggio a vite e dado, porta un contrassegno del valore di capacità, del valore della tensione di lavoro, nonchè della polarità, contrassegni che possono essere espressi (a seconda dei criteri del fabbricante) sia in cifre che a colori, per cui un condensatore elettrolitico multiplo di costruzione americana può portare, ad esempio, i seguenti contrassegni:

20 μF = 450 v. c.c. ..... (rosso)
20 μF = 450 V. c.c. ..... (giallo)
20 μF = 300 V. c.c. ..... (bleu)
50 μF = 25 V. c.c. ..... (marrone)
Negativo comune .... (nero)

I vecchi tipi tubolari, sia a secco che a liquido, avevano generalmente il negativo comune che era costituito dall'involucro metallico, da fissarsi direttamente al telaio, ma poichè non tutti gli apparecchi usano detto telaio nè come punto di massa (o terra), nè come lato negativo di tutti i circuiti, tale sistema si dimostrò poco pratico agli effetti della intercambiabilità e del montaggio. Per questo motivo la maggior parte degli elettrolitici ha ora un collegamento separato per il negativo, in modo che l'involucro, indipendente dagli elettrodi, può essere fissato al telaio indipendentemente dal tipo di circuito.

A volte, i terminali sono flessibili, ed allora le diciture sono analoghe a quelle descritte, mentre a volte i terminali sono costituiti da fili rigidi, nel quale caso i contrassegni di polarità sono stampati in prossimità dei terminali stessi. In questi casi, nella produzione americana, si usano i seguenti simboli:

8 μF = 450 V. = Δ
8 μF = 450 V. = Ω
25 μF = 25 V. = □
Negativo comune = Nessun simbolo

CONDENSATORI al TANTALIO

Si tratta di condensatori analoghi a quelli ora descritti (**figura 11**) ma che impiegano come dielettrico una sottilissima pellicola di ossido di tantalio, il quale ha un potere isolante molto maggiore con minore spessore, ed altri vantaggi che elencheremo in seguito.

L'uso del tantalio ha permesso la realizzazione di condensatori a bassa tensione, di grande capacità nonostante le dimensioni ridottissime, per cui, oltre a servire per la produzione dei normali tipi per piccoli ricevitori portatili con alimentazione a batterie, è stato utilissimo per produrre i cosiddetti micro-condensatori che, con una tensione massima di 12 volt, hanno potuto essere ridotti alle dimensioni di 4 mm di diametro per 12 di lunghezza, con capacità dell'ordine dei 5 μF, oppure di 10 mm di diametro per 18 di lunghezza, con capacità di 50 μF.

I condensatori al tantalio presentano i seguenti vantaggi:

a) sono molto più piccoli di quelli di capacità e tensione corrispondenti con anodo in alluminio;
b) hanno una durata maggiore;
c) possono funzionare in temperature-ambiente comprese tra −80° e +85° C.;
d) hanno una bassissima corrente di dispersione.

Normalmente vengono incapsulati in un involucro metallico, a sua volta ricoperto con materiale plastico trasparente attraverso il quale è possibile leggere le diciture stampigliate sull'involucro stesso; l'involucro non reagisce chimicamente con l'elettrolita evitando così la formazione di ossido sulla sua superficie interna, bensì agisce da catalizzatore per la trasformazione dell'idrogeno che si produce durante il funzionamento.

Essi possono inoltre subire urti anche violenti, senza riportare danni, e, date le ridotte dimensioni, non hanno bisogno di squadrette di fissaggio o di supporti di qual-

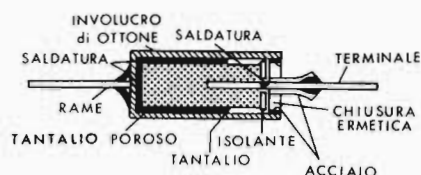



Fig. 11 — Struttura di un condensatore che impiega come dielettrico l'ossido di tantalio. Questi condensatori sono caratterizzati dalle più piccole dimensioni sinora raggiungibili per una data capacità. Nelle dimensioni del disegno si possono avere tipi con capacità di circa 50 µF (12 volt).

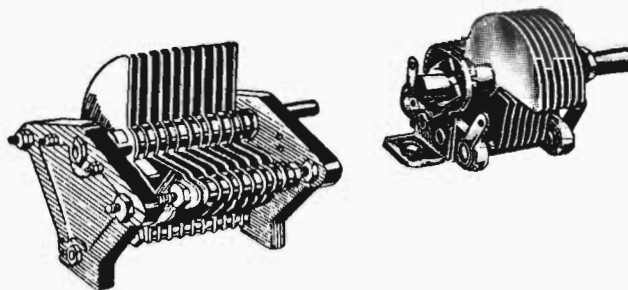
Fig. 12 — Condensatori variabili costruiti per impieghi in trasmettitori. Tra le caratteristiche di questi tipi si annotano una notevole spaziatura tra le lamine ed isolamento ceramico tra le due armature.

siasi genere: nel montaggio in un circuito, il loro peso viene sostenuto direttamente dai terminali rigidi che escono dalle estremità, come avviene per le resistenze.

Nonostante i vantaggi elencati, i condensatori al tantalio hanno trovata ampia diffusione solo in determinate categorie di apparecchi — quelle cioè in cui il fattore dimensionale è della massima importanza — e ciò a causa del loro costo molto elevato nei confronti dei comuni elettrolitici realizzati con elettrodi di alluminio.

CONDENSATORI a CARTA METALLIZZATA

La carta necessaria come dielettrico nei condensatori a carta in genere, per quanto venga realizzata con estrema cura, non potrà mai non presentare punti dielettricamente deboli. Infatti, non si può praticamente evitare che particelle conduttrici, o pulviscolo o altro, vengano a costituire una via di facile passaggio per la corrente, vale a dire prima o poi un cortocircuito tra le armature. Per ovviare a questo grave inconveniente si è costretti ad impiegare un doppio strato di carta: in tal caso è alquanto difficile che si verifichi la coincidenza cioè la sovrapposizione di due punti deboli. Il doppio strato di carta porta però, logicamente, ad un maggiore costo nonchè ad un maggiore ingombro.

Una nuova tecnica, sviluppata in questi ultimi anni, ha consentito la costruzione di condensatori a strato unico di carta. Tale tecnica è quella che si vale del processo di metallizzazione per creare, direttamente sulla carta stessa, l'armatura. Anzitutto la carta subisce una laccatura: su di essa, per evaporazione e condensazione sotto alto vuoto si deposita uno strato sottilissimo (un decimo di micron) di alluminio puro. Questo sistema costruttivo porta tra l'altro ad una particolare, preziosa prerogativa del condensatore: l'autocicatrizzazione. Si tratta, in altre parole, del fatto che, se incidentalmente in un punto debole del dielettrico avviene la temuta scarica tra le armature, queste sono talmente sottili da evaporare istantaneamente (in pochi microsecondi) attorno al punto stesso senza che nella carta risultino lesioni. Il condensatore in virtù di ciò, può perfettamente continuare a svolgere la sua normale funzione anche dopo una scarica interna, non solo, ma la formazione di allumina che si verifica durante la scarica, aumenta le proprietà isolanti in quel punto.

A questo proposito anzi, diremo che l'autocicatrizzazione viene anche preventivamente sfruttata in sede di fabbricazione del condensatore per evitare che nello stesso, in seguito, alle condizioni nominali di funzionamento, avvengano scintillamenti.

Per ottenere inoltre una più spinta riduzione delle dimensioni si è conferito alle armature — in alcuni tipi — un profilo a « greca », dimensionata in modo progressivo in funzione del diametro: l'avvolgimento è costituito da un unico nastro dielettrico.

È appena il caso di rilevare che gli effetti delle scariche di autocicatrizzazione sul valore capacitivo sono talmente ridotti da non poter essere addirittura apprezzati con i normali apparecchi di misura.

Questi condensatori sono racchiusi in involucri di diverso tipo a seconda delle condizioni ambientali cui sono destinati: l'involucro è solitamente di materiale plastico o di alluminio. Le temperature di esercizio possono raggiungere gli estremi di —400° C e +100° C.

CONDENSATORI VARIABILI

Il tipo di condensatore ad armature parallele si presta alle variazioni meccaniche, vale a dire alla regolazione della capacità. Poichè quest'ultima dipende sia dalla superficie che dalla distanza tra le armature stesse, si può variare una di tali caratteristiche. Nei condensatori variabili generalmente si fa variare l'area efficace, ossia quella parte delle armature che si trova effettivamente affacciata di fronte a quella dell'elettrodo opposto; alla regolazione della distanza si ricorre invece in altri tipi di capacità variabile, ad esempio compensatori e neutralizzatori nei quali la variazione è ridotta.

Un condensatore variabile tipico sappiamo che consiste di due serie di armature, una delle quali si sposta rispetto all'altra allo scopo di variare la capacità; la serie fissa costituisce lo **statore**, quella mobile viene denominata **rotore**.

In genere, le lamine del rotore sono in numero inferiore di uno rispetto a quelle dello statore, e vengono montate su un albero che deve essere ruotato.

Entrambi i complessi di lamine sono rigidi, e generalmente vengono realizzati in alluminio onde evitare una facile ossidazione. L'albero del rotore fa parte del supporto metallico che può essere fissato al telaio o chassis di una

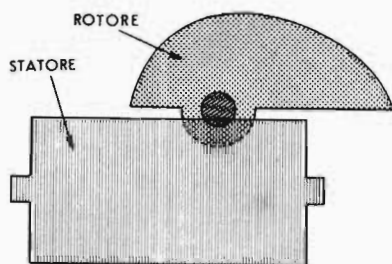



Fig. 13 — Per ottenere un determinato andamento nella variazione di capacità conseguente alla rotazione delle armature variabili, si pongono queste ultime in posizione decentrata rispetto all'albero.

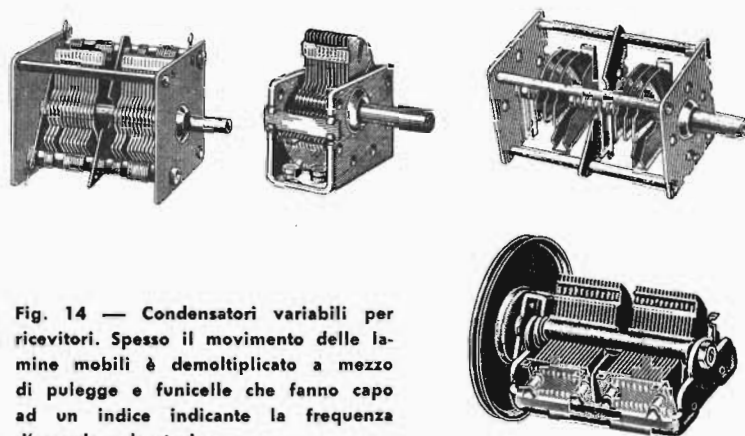



Fig. 14 — Condensatori variabili per ricevitori. Spesso il movimento delle lamine mobili è demoltiplicato a mezzo di pulegge e funicelle che fanno capo ad un indice indicante la frequenza d'accordo o la stazione.

qualsiasi apparecchiatura radio, mentre lo statore viene fissato a detto supporto mediante barrette di materiale isolante (ceramica, steatite, ecc.).

Allo scopo di assicurare una variazione dolce e regolare, l'albero del rotore viene supportato mediante cuscinetti a sfere o bronzine, e vi sono speciali molle di contatto continuo e stabile con la parte mobile.

Dal momento che lo spessore delle lamine non influisce sulla capacità, esse vengono costruite della massima sottigliezza, compatibilmente si intende come le condizioni di rigidità e di robustezza necessaria. Il dielettrico è normalmente costituito dall'aria, e vengono presi speciali provvedimenti di carattere meccanico onde evitare che il rotore possa venire in diretto contatto con lo statore durante la sua rotazione.

La distanza tra gli elettrodi varia a seconda dell'impiego cui il condensatore è destinato. Mentre quelli usati nei ricevitori — nei quali la tensione applicata è minima — hanno la minima distanza meccanicamente consentita, quelli usati nei trasmettitori, nei quali spesso sono in gioco tensioni elevate, hanno le lamine ad una distanza atta ad evitare l'innesco di scintille, ossia la rottura dell'isolamento aria per effetto del cosiddetto arco voltaico.

Il tipo di maggiori dimensioni, illustrato nella **figura 12**, è appunto un condensatore variabile ad alta tensione per trasmettitori. È importante ed intuitivo il fatto che, se si aumenta la distanza fra gli elettrodi onde evitare scariche di tensione, è necessario dare loro dimensioni molto maggiori di quelle di altri condensatori della medesima capacità adatti a basse tensioni; generalmente, si aumenta a tale scopo, sia la superficie degli elettrodi che il loro numero.

Le armature rotanti di un variabile sono spesso decentrate rispetto al rotore (**figura 13**), allo scopo di dare una variazione di capacità non lineare rispetto all'angolo di rotazione. Ed essendo quest'ultima normalmente di 180°, esse si interpongono con poca superficie affacciata all'inizio (frequenze alte) — partendo dal punto in cui le lamine mobili sono completamente all'esterno (come in figura 13); in seguito alla rotazione, l'aumento di capacità risulta tanto più rapido quanto più le lamine mobili penetrano nello statore (frequenze più basse).

Tale sistema di variazione della capacità è necessario per il seguente motivo: quando un condensatore variabile viene utilizzato in un ricevitore per la sintonia sulle varie stazioni emittenti, esso viene spesso meccanicamente demoltiplicato, in modo che l'intera rotazione di 180° da parte del rotore corrisponda alla intera esplorazione di una scala «parlante» a mezzo di un indice mobile che la percorre da un estremo all'altro. La scala copre un'intera gamma di frequenze, ad esempio le onde medie (da 200 a 600 metri).

Uno spostamento di pochi millimetri dell'indice nell'estremo più basso (200 m) — che corrisponde ad una rotazione di pochi gradi del rotore in posizione quasi completamente estratto dallo statore — deve corrispondere ad una variazione di capacità di pochi picofarad.

Nell'estremo opposto invece (verso i 600 m) uno spostamento dell'indice di pochi millimetri, corrispondente sempre ad una rotazione di pochi gradi, deve causare una variazione di capacità molto maggiore.

Sagomando in modo opportuno le armature del condensatore e decentrando l'albero come si è detto e come appare dall'illustrazione, è possibile ottenere una scala a distribuzione pressochè uniforme delle frequenze. Il principio costruttivo verrà ulteriormente illustrato nella lezione relativa ai circuiti di sintonia.

Alcuni condensatori variabili sono a più sezioni: pur avendo un unico rotore formato da due serie di lamine in contatto tra loro, presentano lo statore suddiviso in due sezioni isolate tra loro. Le sezioni dello statore essendo bilanciate — dando cioè la medesima variazione di capacità per ogni angolo di rotazione da parte del rotore — possono costituire un solo variabile se collegate in parallelo, oppure possono essere collegate separatamente. In altri casi, si possono trovare tipi di condensatori variabili detti «coassiali» o più spesso «in tandem», aventi capacità diverse nelle varie sezioni per scopi che vedremo in seguito; la **figura 14** illustra diversi esemplari di condensatori multipli.

I condensatori variabili per frequenze relativamente basse comprese nelle gamme di trasmissione hanno generalmente capacità massime tra 250 e 500 pF (0,00025 e 0,0005 μF).

Per le gamme di frequenze più elevate si usano «variabili» le cui capacità sono comprese tra 25 e 150 pF (0,000025 e 0,00015 μF); infine, per scopi particolari nel campo degli apparecchi funzionanti a frequenze elevatissime, si possono trovare anche dei condensatori variabili,

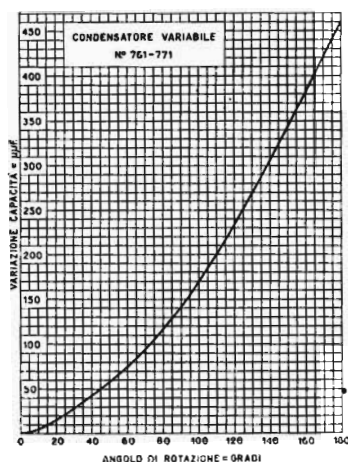



Fig. 15 — La curva indica l'andamento della variazione di capacità al variare dei gradi di rotazione dell'albero di un condensatore variabile, ad aria, « Geloso », costruito a due ed a tre sezioni.

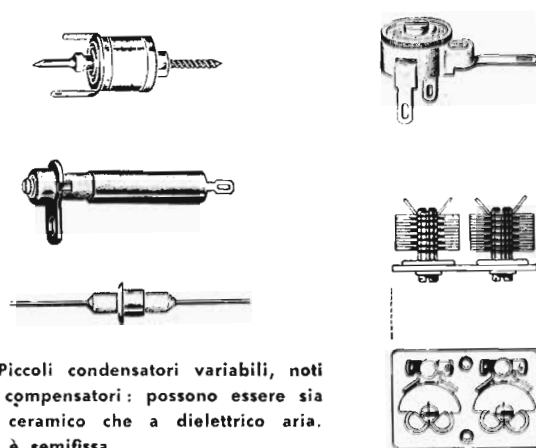



Fig. 16 — Piccoli condensatori variabili, noti col nome di compensatori: possono essere sia a dielettrico ceramico che a dielettrico aria. La variazione è semifissa.

detti microvariabili, la cui capacità massima è dell'ordine di 5 pF (0,000005 µF).

In un condensatore variabile è importante conoscere i seguenti dati: la **capacità massima**, che si ha — come abbiamo visto — quando tutte le lamine del rotore sono del tutto all'interno degli spazi presenti tra le lamine dello statore, quando il variabile è chiuso; **la capacità minima** o residua — che è sempre, inevitabilmente, maggiore di zero — che si ha invece quando le lamine del rotore sono completamente al di fuori di quelle dello statore, ossia quando il variabile è completamente aperto, ed infine **la curva di variazione** di capacità, la quale viene generalmente espressa con un grafico o diagramma avente su di un asse i gradi di rotazione del rotore compresi tra 0° e 180°, e sull'altro i valori di capacità corrispondenti. La **figura 15** rappresenta un esempio di tale diagramma.

I *compensatori*, o condensatori di taratura, sono un altro tipo di condensatori variabili, che traggono il nome dalla loro stessa funzione, in quanto servono per compensare le piccole differenze che si riscontrano inevitabilmente nella messa a punto di un apparecchio comprendente circuiti accordati. Essi sono realizzati però in modo tale che è possibile portarli al valore di capacità desiderato, e lasciarli poi, come condensatori fissi, in tale posizione. A volte sono del tipo a dielettrico mica, e consistono allora in una lamina metallica mobile e in una fissa: la prima, separata dalla seconda da uno strato di mica, può essere più o meno avvicinata a quest'ultima mediante una vite di regolazione e pressione.

I compensatori vengono impiegati per diversi scopi, e si dividono in due categorie principali: « trimmer » e « padder ». È opportuno notare che, dal punto di vista elettrico, non sussiste tra i due alcuna differenza: il primo tipo infatti non è che un compensatore di piccola capacità, che viene generalmente collegato in parallelo ad un condensatore variabile più grande, al fine di aggiungere una piccola capacità variabile che serve per la compensazione, ossia per la correzione delle eventuali differenze; il « padder » è sempre un compensatore, ma di capacità più elevata, che viene generalmente collegato in serie ad un condensatore variabile onde diminuirne la capacità.

I « trimmer » possono avere valori di capacità compresi tra 0,5 e 10 pF, oppure tra 10 e 50 pF; i valori tipici dei « padder » sono invece compresi tra 50 e 100 pF (minimo) o tra 500 e 1.000 pF (massimo).

Nella produzione moderna è facile trovare anche compensatori ad aria, realizzati come minuscoli condensatori variabili montati su un supporto di ceramica, e provvisti di un taglio praticato su una estremità dell'albero del rotore onde permettere la regolazione mediante un cacciavite. Altri tipi ancora sono interamente in ceramica, e sono costituiti da due dischetti di detto materiale, la cui superficie è parzialmente metallizzata da un lato, fissati tra loro con una vite o un rivetto, in modo tale che uno dei due possa ruotare intorno al proprio centro, mediante un cacciavite.

Altri tipi ancora sono costituiti da un tubetto di ceramica provvisto di un'anima metallica (costituente uno degli elettrodi) e di un manicotto esterno costituente il secondo elettrodo. Lo spostamento di quest'ultimo lungo l'asse determina la variazione di capacità.

Nella **figura 16** sono illustrati alcuni esemplari di compensatori.

A conclusione dell'argomento condensatori riassumeremo, con breve cenno, quelle che sono le perdite caratteristiche di quest'organo: conoscendole si potrà meglio valutare, al momento opportuno, se ad esse o ad una di esse deve imputarsi un risultato non soddisfacente del circuito o dell'apparecchiatura.

Si distinguono perdite resistive, di fuga, di assorbimento dielettrico e di isteresi dielettrica. In merito alle prime diremo che, a rigore, devono intendersi quelle dovute alla resistenza dei conduttori interni nonchè delle armature stesse: la perdita equivale al quadrato della corrente per il valore ohmico. Si tratta di una parte minima delle perdite totali del condensatore.

Circa le seconde abbiamo già messo in evidenza il fenomeno parlando dei condensatori elettrolitici. L'assorbimento dielettrico è causa di perdite in quanto il dielettrico assorbe cariche che non restituisce. L'isteresi è infine simile a quella del nucleo di una induttanza: si richiede energia (perdita) per invertire il campo delle armature.

Ricorderemo, in ultimo, che un'importante caratteristica distintiva dei condensatori è la tensione massima di funzionamento, che deve sempre essere espressa dal costruttore, unitamente alla tensione istantanea di punta nonchè alla sovratensione che il condensatore può sopportare.

SIMBOLI - ABBREVIAZIONI

A = Superficie (area) di un elettrodo
C = Capacità (in pF, µF o F)
C_T = Capacità totale
d = Distanza (tra due elettrodi)
F = Farad
I_c = Intensità di corrente alternata attraverso una capacità
K = Costante dielettrica
pF = picofarad (milionesimi di µF)
RC = Circuito con resistenza e capacità
X_c = Reattanza capacitiva
µF = microfarad (milionesimi di F)

FORMULE

$$C = 0{,}0885 \frac{KA}{d}$$

Tra condensatori in parallelo:

$$C_T = C1 + C2 + C3 + \ldots\ldots$$

Tra due condensatori in serie:

$$C_T = \frac{C1 \times C2}{C1 + C2}$$

Tra condensatori in serie:

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C1} + \frac{1}{C2} + \frac{1}{C3} + \ldots\ldots$$

$$X_c = \frac{1}{2\pi FC}$$

$$X_c = \frac{1}{\omega C}$$

In un circuito RC in serie:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_c^2}$$

In un circuito RC in parallelo:

$$Z = \frac{E}{\sqrt{I_R^2 + I_c^2}}$$

SEGNI SCHEMATICI

 = Generatore di corrente alternata

= Condensatore elettrolitico

 = Condensatore elettrolitico

 = Condensatore elettrolitico

DOMANDE sulle LEZIONI 31ª e 32ª

N. 1 — Sotto quale forma l'energia viene immagazzinata in un condensatore?

N. 2 — In quale modo viene definita la costante dielettrica?

N. 3 — Come viene chiamato il passaggio di una corrente attraverso il dielettrico di un condensatore, causato dal cambiamento di forma delle orbite degli elettroni?

N. 4 — Quali sono i tre fattori che determinano la capacità di un condensatore?

N. 5 — Cosa succede se gli elettrodi di un condensatore vengono avvicinati gli uni agli altri?

N. 6 — Se si collegano in parallelo due condensatori, la capacità totale aumenta o diminuisce?

N. 7 — In un circuito a corrente continua, quale resistenza o impedenza è offerta da un condensatore nell'istante in cui la tensione viene applicata?

N. 8 — Se in un circuito capacitivo la frequenza della tensione alternata aumenta, restando costante l'ampiezza, come si comporta la corrente?

N. 9 — Ai capi di una sorgente di c.c. di 20 volt si trova una capacità di 8 µF in serie ad una resistenza da 5 Mohm. Appena il circuito viene chiuso, quale tensione si sviluppa ai capi della capacità dopo un tempo pari a 2RC, e quanti secondi impiega a svilupparsi?

N. 10 — Cosa significano le sillabe « ELI » e « ICE »?

N. 11 — In un circuito percorso da c.a. a 1.000 Hz, quale è la reattanza capacitiva di un condensatore da 2 µF?

N. 12 — A quanto ammonta la capacità di un condensatore, se la tensione ai suoi capi aumenta da 0 a 50 volt con una carica pari a 1 coulomb?

N. 13 — A quanti µF corrisponde una capacità di 0,00002 F?

N. 14 — A quanti pF corrisponde una capacità di 0,02 µF?

N. 15 — Per quale motivo un condensatore di elevata capacità può presentare caratteristiche induttive?

N. 16 — Quale è la capacità in pF di un condensatore a lamine parallele i cui elettrodi hanno una superficie pari a 46,87 cm², e nel quale il dielettrico è di mica (cost. diel. = 6) e la distanza tra gli elettrodi è di 0,25 mm?

N. 17 — Quale è la capacità totale di due condensatori in serie aventi le rispettive capacità di 100 e 200 pF?

N. 18 — In quale misura la tensione di lavoro di un condensatore deve essere maggiore di quella applicata?

N. 19 — Da quali fattori dipende la tensione di lavoro di un condensatore?

N. 20 — Quale è la caratteristica di un condensatore elettrolitico che consente di raggiungere forti capacità?

N. 21 — A cosa serve un compensatore?

N. 22 — Per quale motivo i condensatori variabili hanno quasi sempre l'asse di rotazione decentrato?

RISPOSTE alle DOMANDE di Pag. 233

N. 1 —

Soltanto quando la corrente che la percorre varia di intensità. Una corrente costante dà solo un impulso iniziale quando il circuito viene chiuso, ed uno con polarità invertita quando viene aperto.

N. 2 —

La f.e.m. indotta si oppone sempre alle variazioni di corrente che essa stessa produce, e ne limita l'intensità.

N. 3 —

Dall'induttanza della bobina e dal rapporto di variazione della corrente.

N. 4 —

L'induttanza varia proporzionalmente al quadrato del numero delle spire.

N. 5 —

L'induttanza mutua ammonta a 62,58 henry. Infatti, applicando la formula $M = k\sqrt{L_1 L_2}$ si ha:

$$M = 0{,}7\sqrt{40 \times 200} = 62{,}58 \text{ circa}$$

N. 6 —

La corrente ritarda rispetto alla tensione, e la tensione ritarda rispetto alla corrente, di 90°.

N. 7 —

La reattanza induttiva ammonta a 3,768 ohm.

N. 8 —

L'impedenza ammonta a 69,5 ohm circa. Infatti, applicando la formula $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$ si ha:

$$Z = \sqrt{35^2 + 60^2} = 69{,}5 \text{ circa}$$

N. 9 —

Perchè l'energia immagazzinata viene restituita allorchè la corrente viene meno, ossia, trattandosi di corrente alternata, negli istanti in cui la tensione è zero.

N. 10 —

IX_L ammonta a 294,9 volt.

N. 11 —

Rispettivamente a 50 mH ed a 50.000 μH.

N. 12 —

La resistenza ohmica pura. Ad una corrente variabile si oppone, oltre alla resistenza, anche la reattanza induttiva.

N. 13 —

Ad un totale di 7,1 millihenry (mH).

N. 14 —

Il coefficiente K è pari a 0,3.

N. 15 —

Ind. Mutua (M) = $K\sqrt{L_1 L_2}$.

N. 16 —

L'induttanza totale ammonta a 30 henry (H).

N. 17 —

L'induttanza totale ammonta — in questo caso — a 5 henry (H).

TABELLA 43 — CARATTERISTICHE ELETTRICHE dei PRINCIPALI MATERIALI ISOLANTI

MATERIALE	Costante dielettrica	Rigidità elettrica kV/cm	Angolo di perdita δ
Acetato di cellulosa	6,0	—	—
Aria liquida	1,5	40 ÷ 90	—
Aria secca	1,0	24	—
Ardesia	6,6 ÷ 7,4	3,5 ÷ 5,5	—
Ambra	2,9	—	—
Bachelite	5,6	100 ÷ 120	$3 \div 8 \times 10^{-3}$
Calan	6,5	350 ÷ 450	3,6 ÷ 4,7
Calit	6,4	350 ÷ 450	13 ÷ 15
Calit speciale	6,5	350 ÷ 450	5 ÷ 6
Carta	2,0	180 ÷ 220	$4 \div 7 \times 10^{-3}$
Carta bachelizzata	5,0	100 ÷ 200	—
Carta impregnata	2,8 ÷ 6,5	400 ÷ 2400	$2 \div 4 \times 10^{-3}$
Carta Manilla secca	1,2 ÷ 1,9	22 ÷ 25	—
Carta paraffinata	2,5 ÷ 4,0	400 ÷ 500	—
Caseina	6,2	160 ÷ 280	—
Celluloide	2 ÷ 4	420	4×10^{-8}
Cera comune	1,9	110	—
Cloracet. di polivin.	3,2	—	—
Cloruro di polivin.	3,2	—	—
Colofonia	2,5 ÷ 2,8	110	—
Codensa	80	—	6×10^{-4}
Ebanite	2 ÷ 3,5	300 ÷ 1100	7×10^{-8}
Fibra	1,4 ÷ 2,0	20 ÷ 22	$5{,}4 \times 10^{-2}$
Frequenta (steatite)	5,5 ÷ 6,5	250 ÷ 450	$2 \div 5 \times 10^{-4}$
Frequenta D	5,6	—	2 ÷ 3
Frequentite	5,9	480	6 ÷ 10
Galalite	—	23 ÷ 28	—
Gomma dura	2,0	—	—
Gomma elastica	2,1 ÷ 2,3	150 ÷ 500	—
Gomma vulcanizzata	2,7 ÷ 2,9	200 ÷ 300	7×10^{-8}
Gommalacca	2,6 ÷ 3,7	—	—
Isolantite	6,0	—	—
Kerafar (R-S)	70 ÷ 88	100	$5 \div 15 \times 10^{-4}$
Kerafar (T-U)	45 ÷ 55	150 ÷ 200	$5 \div 10 \times 10^{-4}$
Legno di balsa	1,4	—	—
Legno paraffinato	2,5 ÷ 7,7	8 ÷ 30	—
Legno secco	5,0	—	—
Linoleum	—	100 ÷ 200	—
Marmo	6 ÷ 8,3	10 ÷ 14	—
Mica chiara (indiana)	4 ÷ 8	600 ÷ 2000	18×10^{-4}
Mica comune	2,5	—	—
Micanite	4,5 ÷ 5,0	300 ÷ 400	—
Mogano	2,4	—	—
Nylon	3,4 ÷ 22,4	200 ÷ 350	—
Olio di lino cotto	3 ÷ 3,5	80 ÷ 190	3×10^{-4}
Olio di oliva	3,1 ÷ 3,2	75 ÷ 170	—
Olio di paraffina	3,0 ÷ 3,16	160 ÷ 215	2×10^{-4}
Olio di trementina	2,1 ÷ 2,3	110 ÷ 160	—
Olio per trasform.	2 ÷ 2,5	115 ÷ 170	$1{,}5 \times 10^{-4}$
Paraffina	2 ÷ 2,5	140 ÷ 450	9×10^{-3}
Pertinax	5,6	—	—
Petrolio	2 ÷ 2,3	—	—
Polietilene	2,25	200 ÷ 300	—
Polistirolo	2,4 ÷ 2,9	500 ÷ 2500	—
Politene	2,4	1000	—
Porcellana	4,4 ÷ 6,8	100 ÷ 120	$1{,}2 \times 10^{-3}$
Presspahn	4,3 ÷ 6,3	70 ÷ 130	3×10^{-2}
Quarzo fuso	4,6	1800	1×10^{-4}
Steatite (v. frequenta)	—	—	—
Tela sterlingata	1,8 ÷ 3,2	250 ÷ 500	—
Tempa N	12,5	—	$1{,}3 \times 10^{-5}$
Tempa S	14	—	1×10^{-4}
Ultra Calan	7	—	$1 \div 1{,}8 \times 10^{-4}$
Urea	6,6	—	—
Vaselina	2,17	90 ÷ 130	—
Vetro fotografico	7,5	350 ÷ 2000	—
Vetro comune	6,2	300 ÷ 1500	$0{,}3 \div 8 \times 10^{-4}$
Vetro Pyrex	4,9	1050	4×10^{-3}
Zolfo	2,4 ÷ 4,2	33	6×10^{-5}

La Tabella 43, riportata alla pagina di fronte, elenca i principali materiali isolanti, e specifica le relative caratteristiche elettriche. Della *costante dielettrica* abbiamo già detto nel testo, e sappiamo che il suo valore è riferito a quello dell'aria secca considerato come unità.

Per *rigidità elettrica,* espressa in chilovolt per centimetro, si intende il valore massimo della tensione che, applicata ad un frammento del materiale considerato, avente lo spessore di un centimetro, viene sopportata senza inconvenienti. Se però detta tensione viene ulteriormente aumentata, si ha una scarica elettrica attraverso il materiale stesso, il quale si fora cedendo alla differenza di potenziale. Come si nota osservando la tabella, non è possibile dare per questa caratteristica un valore definito, a causa delle diverse qualità di uno stesso materiale. È stato però possibile, mediante prove adeguate, stabilire i valori massimi e minimi entro i quali la tolleranza è soddisfacente.

L'angolo di perdita — rappresentato dal simbolo « δ » (lettera greca « delta »), è la definizione qualitativa di un condensatore riferita ad un determinato dielettrico. Esso è dato dal rapporto tra la reattanza capacitiva in ohm del condensatore (ad una data frequenza), e un determinato valore di resistenza. Tale valore è quello della dispersione del dielettrico: se lo figuriamo in serie ad un condensatore perfetto, avremo ai suoi capi una caduta di tensione corrispondente a quella dovuta alle perdite effettive, intrinseche del condensatore in esame.

Il valore riportato nella tabella è indicativo, ed è riferito alla radiofrequenza.

CODICE a COLORI per CONDENSATORI

Come per le resistenze (vedi Fascicolo 2), anche per i condensatori è stato stabilito, in U.S.A., un mezzo per contrassegnare ed individuare rapidamente il tipo, il valore della capacità in picofarad e la tolleranza, ed in più la massima tensione di funzionamento.

A tale scopo esistono due codici, per altro molto simili tra loro: il codice « JAN », (*Joint Army-Navy*), adottato per i condensatori con cui vengono realizzate le apparecchiature elettroniche militari americane, ed il codice « RTMA » (*Radio & Television Manifacturer Association*) adottato per contrassegnare i condensatori destinati all'impiego nelle apparecchiature elettroniche civili.

Riteniamo utile esporre anche il primo, in quanto — nell'attività dilettantistica — si ha spesso occasione di utilizzare o di modificare materiale proveniente dal mercato « surplus », ossia dei residuati bellici.

Il Codice « JAN »

La **figura 1** illustra la disposizione dei punti colorati sui condensatori a mica. Innanzitutto, per una corretta interpretazione, il condensatore deve essere tenuto in modo che i punti provvisti di un segno a « V » orizzontale siano sulla fila superiore, e che le punte siano rivolte verso destra.

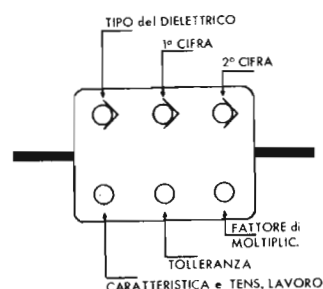



Figura 1

In questo caso il primo colore in alto a sinistra indica la natura del dielettrico, e precisamente *mica* se è nero, e *carta* se è argento. Per i condensatori ceramici tale contrassegno è superfluo in quanto la forma (generalmente cilindrica a « tubetto » o a « pastiglia ») ne denuncia chiaramente la natura. Gli altri punti, considerati da sinistra a destra nella fila superiore, e quindi da destra a sinistra in quella inferiore, forniscono le altre informazioni come indicato nella figura 1.

La **figura 2** illustra invece la distribuzione delle strisce colorate sui condensatori ceramici: l'ordine progressivo va da sinistra a destra allorchè l'osservatore guarda il condensatore in modo che la striscia più larga sia alla sua sinistra.

In ogni caso i colori individuano la prima e la seconda cifra significativa, il relativo coefficiente di moltiplicazione, la tolleranza sul valore dichiarato, e la massima tensione di funzionamento, secondo la tabella 44 per i condensatori a mica, e la tabella 45 per i condensatori ceramici.

Nel codice « JAN » esiste un secondo sistema, nel quale le caratteristiche generiche vengono contrassegnate con simboli alfabetici e numeri, mentre il valore è espresso nel codice a colori: in questo caso la prima sigla può essere:

CN = Condensatore con dielettrico a carta
CM = Condensatore con dielettrico a mica
CC = Condensatore ceramico

Le caratteristiche del condensatore — in tal caso — sono spesso rappresentate da due numeri (posti immediatamente dopo le sigle che individuano la natura del dielettrico), che si riferiscono alle dimensioni meccaniche, seguite — nei condensatori a mica — da una lettera che rappresenta il coefficiente di temperatura, e — nei condensatori ceramici — da due lettere che rappresentano il coefficiente di temperatura e la relativa tolleranza.

Sui condensatori a mica la tolleranza sul valore dichiarato può essere espressa come segue:

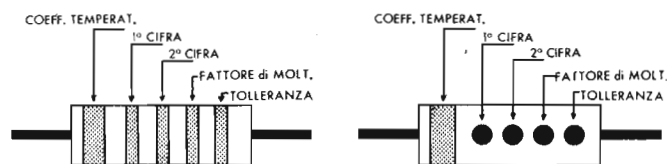



Figura 2

G = ± 2% K = ± 10%
J = ± 5% M = ± 20%

Sui condensatori ceramici invece, detta tolleranza è espressa mediante una lettera, come specificato nella tabella 46. In tal caso, se la capacità dichiarata è eguale o superiore a 10 pF, essa va considerata in percentuale sul valore stesso; se inferiore, va invece intesa in pF in più o in meno.

Ad esempio, un condensatore da 15 pF recante la lettera G avrà una capacità di 15 pF ± 0,30 pF (pari a ± 2%). Per contro un condensatore da 8 pF contrassegnato dalla medesima lettera avrà una capacità di 8 pF ± 2 (ossia compresa tra 6 e 10 pF).

Come si è detto, l'interpretazione dei colori per i con-

densatori a mica ed a carta avviene secondo la tabella 44, nella quale le lettere riportate nella colonna « Caratteristiche » hanno il seguente significato:

A = Condensatore a mica comune

B = Come A, ma con involucro esterno a basse perdite

C = Condensatore a mica metallizzata (± 100 pF per milione di pF per C°)

D = Condensatore a mica metallizzata (± da 0 a 100 pF per milione di pF per C°)

E = Condensatore a mica metallizzata (± da 0 a 50 pF per milione di pF per C°)

F = Condensatore a mica metallizzata (da 0 a — 50 pF per milione di pF per C°)

Il codice « RTMA »

La **figura 3** illustra la disposizione e l'ordine di lettura dei contrassegni colorati, nonchè il loro significato, per i condensatori a mica, e la **figura 4** si riferisce invece ai condensatori ceramici.

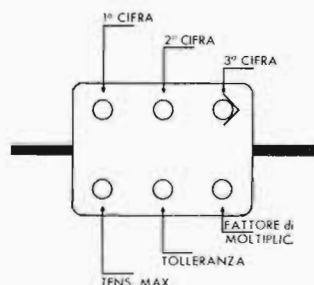



Figura 3

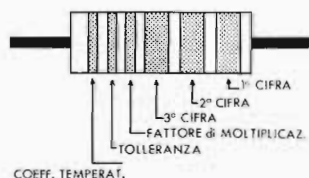



Figura 4

Come si nota, nei confronti del codice « JAN », esiste qualche differenza nella disposizione e nell'ordine di lettura, tuttavia, agli effetti dell'interpretazione, i colori hanno il medesimo significato. Come il lettore avrà osservato, sarà facile rammentare i valori numerici corrispondenti ai vari colori, in quanto sono ancora i medesimi adottati per le resistenze.

Nel codice « RTMA » può capitare a volte che sull'involucro di un condensato a mica sia presente un numero di punti colorati inferiore a 6. Le figure 5, 6 e 7 chiariscono i vari casi.

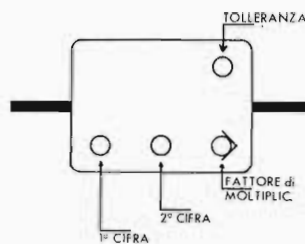



Figura 5

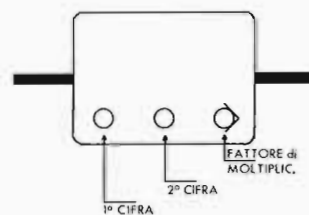



Figura 6

Quando invece i punti colorati sono tutti presenti, l'ultimo a sinistra della fila inferiore rappresenta spesso la massima tensione di funzionamento, come segue:

Nero . . . . =	500 volt	Blu . . . . . =	600 volt
Marrone . . =	100 volt	Viola . . . . =	700 volt
Rosso . . . . =	200 volt	Grigio . . . =	800 volt
Arancio . . =	300 volt	Bianco . . . =	900 volt
Giallo . . . =	400 volt	Oro . . . . . =	1.000 volt
Verde . . . =	500 volt	Argento . . =	2.000 volt

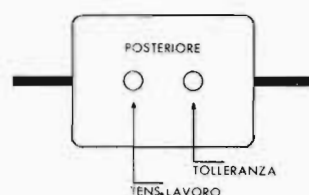
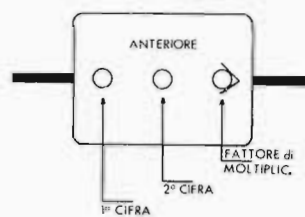



Figura 7

È opportuno aggiungere, per ultimo, che secondo questo codice la natura del dielettrico è a volte contraddistinta dal colore dell'involucro esterno, e precisamente *nero* per i tipi con dielettrico a carta, *marrone* per i tipi con dielettrico a mica, e *rosso* per i tipi a mica metallizzata.

TABELLA 44 — CODICE a COLORI per CONDENSATORI a MICA

Colore	CAPACITA'		TOLLERANZA ±	CARATTERISTICHE
	1ª e 2ª cifra significativa	Fattore di moltiplicazione		
Nero	0	1	20% (M)	A
Marrone	1	10	1%	B
Rosso	2	100	2% (G)	C
Arancio	3	1.000	3%	D
Giallo	4	10.000	4%	E
Verde	5	100.000	5%	F
Blu	6	1.000.000	6%	G
Viola	7	10.000.000	7%	—
Grigio	8	100.000.000	8%	—
Bianco	9	1.000.000.000	9%	—
Oro	—	0,1	5% (J)	—
Argento	—	0,01	10% (K)	—

Esempio — Un condensatore a mica contraddistinto dai seguenti colori (nell'ordine progressivo): verde, rosso, rosso, oro, ha la capacità di 5.200 pF (pari a 0,0052 µF), con una tolleranza su detto valore pari a ± 5%.

TABELLA 45 — CODICE a COLORI per CONDENSATORI CERAMICI

Colore	1ª e 2ª cifra significativa	Fattore di moltiplicazione	Tolleranza		Coeff. di temp. pF per milione/C°
			Magg. di 10 pF	Min. di 10 pF	
Nero	0	1	20 (M)	2,0 (G)	0
Marrone	1	10	1 (F)	—	— 30
Rosso	2	100	2 (G)	—	— 80
Arancio	3	1.000	—	—	— 150
Giallo	4	10.000	—	—	— 220
Verde	5	100.000	5 (J)	0,5 (D)	— 330
Blu	6	1.000.000	—	—	— 470
Viola	7	10.000.000	—	—	— 750
Grigio	8	0,01	—	0,25 (C)	+30
Bianco	9	0,1	10 (K)	1,0 (F)	+550

Esempio — Un condensatore ceramico contraddistinto dai seguenti colori (nell'ordine progressivo): marrone, verde, nero, rosso, marrone, avrà il valore di 15 pF, una tolleranza pari a ± 2%, ed un coefficiente di temperatura tale che, con una variazione di temperatura di 1° C, la capacità diminuisce di 30 pF su 1.000.0000. In questo caso la variazione corrispondente è di 0,00045 pF.

TABELLA 46 — TOLLERANZE sui VALORI dei CONDENSATORI CERAMICI

Simbolo	Percentuale ±	pF ±
C	—	0,25
D	—	0,50
F	1	1,00
G	2	2,00
J	5	—
K	10	—
M	20	—

TABELLA 47 — SIGNIFICATO dei PREFISSI

La tabella 47, quì sotto riportata, elenca i prefissi adottati in elettronica ed in radiotecnica, ed i relativi coefficienti per i quali è necessario moltiplicare il numero al quale essi si riferiscono onde ottenere il valore corrispondente nella relativa untà di misura. Ad esempio, dal momento che il prefisso « milli » nella colonna delle Unità, corrisponde a 10^3, ciò significa che l'unità deve essere moltiplicata per 1.000 (1.000 = 10^3), al fine di ottenere il suo valore espresso in millesimi. Analogamente, una quantità già espressa in millesimi, deve essere divisa per 1.000 per avere il valore in Unità: infatti, 1 mV (1 millivolt) corrisponde a 1 volt : 1.000 = 0,001 volt.

Supponiamo di conoscere il valore di un condensatore espresso in 0,002 μF; se vogliamo trasformare detto valore in pF, individuiamo il prefisso « Pico » (eguale a micro-micro) nella prima colonna a destra, ed in corrispondenza di tale prefisso individuiamo il fattore di moltiplicazione nella colonna « Micro ». Nel nostro caso il fattore è 10^6, ossia 1.000.000. Di conseguenza avremo che il valore in pF sarà pari a 0,002 × 1.000.000 = 2.000 pF.

Per ottenere il numero incognito di	moltiplicare il numero noto di												
	Tera per	Giga per	Mega per	Chilo per	Etto per	Deca per	Unità per	Deci per	Centi per	Milli per	Micro per	Nano per	Pico per
Tera . . . . . . T	1	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}	10^{-12}	10^{-13}	10^{-14}	10^{-15}	10^{-18}	10^{-21}	10^{-24}
Giga . . . . . . G	10^3	1	10^{-3}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}	10^{-12}	10^{-15}	10^{-18}	10^{-21}
Mega . . . . . . M	10^6	10^3	1	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-12}	16^{-15}	10^{-18}
Chilo . . . . . . k	10^9	10^6	10^3	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}
Etto . . . . . . h	10^{10}	10^7	10^4	10	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-8}	10^{-11}	10^{-14}
Deca . . . . . . D	10^{11}	10^8	10^5	10^2	10	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-7}	10^{-10}	10^{-13}
Unità . . . . . . —	10^{12}	10^9	10^6	10^3	10^2	10	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}
Deci . . . . . . d	10^{13}	10^{10}	10^7	10^4	10^3	10^2	10	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-5}	10^{-8}	10^{-11}
Centi c	10^{14}	10^{11}	10^8	10^5	10^4	10^3	10^2	10	1	10^{-1}	10^{-4}	10^{-7}	10^{-10}
Milli . . . . . . m	10^{15}	10^{12}	10^9	10^6	10^5	10^4	10^3	10^2	10	1	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}
Micro . . . . . μ	10^{18}	10^{15}	10^{12}	10^9	10^8	10^7	10^6	10^5	10^4	10^3	1	10^{-3}	10^{-6}
Nano . . . . . n (Milli-micro) . (mμ)	10^{21}	10^{18}	10^{15}	10^{12}	10^{11}	10^{10}	10^9	10^8	10^7	10^6	10^3	1	10^{-3}
Pico . . . . . . p (Micro-micro) . (μμ)	10^{24}	10^{21}	10^{18}	10^{15}	10^{14}	10^{13}	10^{12}	10^{11}	10^{10}	10^9	10^6	10^3	1

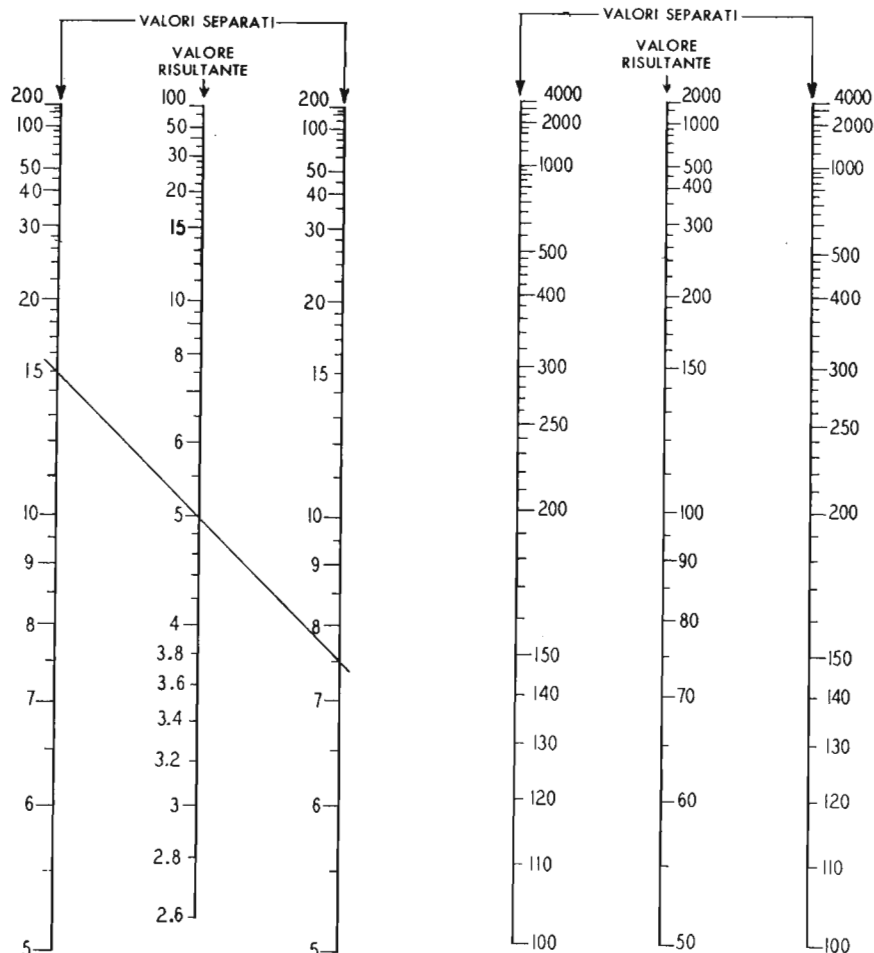



TABELLA 48 —

GRAFICO per il CALCOLO del VALORE di DUE CONDENSATORI in SERIE

A pag. 139 (6° Fascicolo) abbiamo pubblicato un grafico per il calcolo del valore di due resistenze in parallelo; quello che quì riportiamo è sostanzialmente analogo al precedente, e può essere impiegato sia per calcolare il valore di resistenze in parallelo che per il valore di condensatori in serie.

Il lettore avrà infatti notato che la formula è la medesima, e, una volta espressi i valori delle capacità o delle resistenze in semplici numeri, la risoluzione dal punto di vista aritmetico è assolutamente la stessa.

Si tratta dunque di una seconda versione del medesimo grafico, che il lettore potrà usare indifferentemente scegliendo quello il cui impiego risulta più comodo.

Come si nota, questo grafico consta di due gruppi di tre scale verticali, ciascuno dei quali costituisce un grafico a sè stante. Quello di sinistra è adatto al calcolo con due valori compresi entrambi tra 5 e 200 unità, e quello di destra con valori compresi tra 100 e 4.000 unità.

L'uso è molto semplice: noti i valori dei condensatori da connettere in serie, essi vengono individuati uno su una delle scale esterne, ed uno su quella opposta, con il consueto metodo di interpolazione per valori decimali (i quali devono logicamente essere approssimati). Unendo tali punti con una linea retta con l'aiuto di un righello, si individuerà un punto sulla scala centrale che permetterà di leggere sulla stessa il valore risultante.

Nell'esempio riportato sul grafico di sinistra, una capacità è di 15 pF, e l'altra di 7,5: il valore risultante dal loro collegamento in serie è di 5 pF. Anche questo grafico è reversibile in quanto, noto il valore che si desidera ottenere, lo si individua su una delle due scale centrali, e sarà allora sufficiente l'uso di un righello per tracciare un numero pressochè infinito di rette passanti per quel punto, le quali indicheranno sulle scale esterne altrettante coppie di valori che, connessi tra loro, daranno il valore desiderato.

Analogamente, disponendo di una capacità nota e di vari altri valori, e desiderando ottenere un terzo valore, sarà sufficiente individuare il valore da ottenere sulla scala centrale (ad esempio 5), quello disponibile (ad esempio 15) su una delle scale esterne, ed unire i due punti con una retta prolungandola fino ad incontrare l'altra scala esterna, sulla quale si leggerà il valore da connettere in serie per ottenere quello desiderato.

La particolarità di questo grafico (che nelle due sezioni copre la gamma compresa tra 5 e 4.000), è che esso può essere esteso a qualsiasi valore superiore o inferiore al massimo ed al minimo riportati, moltiplicando o dividendo tutti i valori presenti per 10 o per un multiplo o ancora per un sottomultiplo di tale numero. Nell'esempio precedente, se si considera $15 \times 1.000 = 15.000$ e $7,5 \times 1.000 = 7.500$, il valore risultante sarà $5 \times 1.000 = 5.000$.

Come si è detto, questo grafico, come pure l'altro a suo tempo pubblicato, può essere impiegato sia per calcolare il valore di resistenze in parallelo che per capacità in serie, e, in aggiunta, può servire per il calcolo di induttanza in parallelo, *quando tra esse non sussiste il minimo accoppiamento induttivo.*

In ogni caso, affinchè il risultato sia corretto, l'unità di misura alla quale si ricorre deve essere la medesima su tutte e tre le scale. In altre parole, i numeri su esse riportati, possono essere intesi in ohm, kohm, Mohm, pF, µF, F, µH, mH o H indifferentemente, purchè l'unità considerata sia la medesima su tutte le scale.

TESTER ANALIZZATORE Mod. 60 "I.C.E."

BREVETTATO - **Sensibilità c. c. e c. a. = 5.000 ohm per volt**

Il Tester più semplice e più pratico.
Il Tester meno ingombrante con la più ampia scala di lettura.
Il Tester per tutti i radiotecnici ed elettrotecnici.
Il Tester senza commutatori e quindi il più stabile ed il più preciso.
Il Tester con strumento antiurto montato su sospensioni elastiche.
Il Tester dalle innumerevoli prestazioni.
Il Tester più preciso al prezzo più basso, data l'altissima produzione.

CARATTERISTICHE TECNICHE

Scatola base in speciale materiale plastico infrangibile - Pannello interamente in Cristal antiurto, che permette di sfruttare al massimo l'ampiezza del quadrante di lettura ed elimina completamente le ombre sul quadrante stesso. Eliminazione totale quindi, del vetro, sempre soggetto a facilissime rotture e scheggiature e della relativa cornice in bachelite opaca - Una sola scala per tutte le misure voltmetriche in c.a.; una sola scala per tutte le misure in c.c.; una sola scala per tutte le portate ohmetriche.

I. C. E.
INDUSTRIA COSTRUZIONI ELETTROMECCANICHE
VIA RUTILIA, 19/18 - Tel. 531.554 /5/6 - MILANO

22 PORTATE DIFFERENTI !

4 portate milliamperometriche in c.c.: 1 - 10 - 100 e 1000 mA.

4 portate voltmetriche in c. a.: 10 - 50 - 250 e 1000 volt.

4 portate voltmetriche in c. c.: 10 - 50 - 250 e 1000 volt.

4 portate per misure d'uscita: 10 - 50 - 250 e 1000 volt per tutte le frequenze acustiche

3 portate per misure in dB: da −10 dB a +50 dB.

3 portate ohmetriche:
ohm × 1 = da 0 a 20.000 ohm;
ohm × 10 = da 0 a 200.000 ohm;
ohm × 100 = da 0 a 2 Megaohm.

Misure d'ingombro:
mm 126 x 85 x 28. **Extrapiatto !**
Peso grammi 280.

A titolo di propaganda si accettano prenotazioni alle seguenti condizioni: (prezzo netto di qualsiasi sconto franco ns. stabilimento) scatola di montaggio come descritta sul «Corso di Radiotecnica» - fascicolo 9 - Lit. 5.950.

Astuccio per detto, in resinpelle speciale, antiurto ed antimacchia L. 400 -

Tester già montato e completo di astuccio . . . L. 6.950.

——— - Eventuale puntale supplementare per misure di alta tensione fino a 25.000 volt (esempio, per misure di alta tensione su televisori) L. 2.980.

Volendo estendere le portate del suddetto Tester mod. 60 anche per le misure amperometriche in c.a. di: 250 mA; 1 A.; 5 A.; 25 A.; 50 A.; 100 A.; richiedere il trasformatore di corrente mod. 618, del costo di sole L. 3.980.

È una rivista a carattere tecnico commerciale che su ognuno dei suoi fascicoli di oltre 100 pagine, tratta — con indirizzo di praticità e accessibilità senza pari — tutti i problemi dell'elettronica.

La Televisione, la tecnica della Bassa Frequenza, con particolare riguardo all'Alta Fedeltà, l'emissione dilettantistica, le misure ed i relativi apparecchi, i transistori, ecc. sono argomenti, praticamente, di ogni numero.

Un'ampia e dettagliata rassegna della produzione nazionale ed estera offre al lettore la possibilità di mantenersi al corrente su ciò che costantemente il mercato presenta di nuovo.

È una rivista ricca di contenuto — ove tutti gli articoli sono accessibili a tutti i lettori — molto illustrata, stampata su ottima carta, razionalmente impaginata.

Ecco perchè RADIO e TELEVISIONE è realmente — da diverso tempo — la rivista del ramo a più alta tiratura in Italia!

Abbonamento: "RADIO e TELEVISIONE" - via dei Pellegrini N° 8/4
conto corr. postale: 3/4545 - Milano

Una copia - alle edicole - Lire 300
"RADIO e TELEVISIONE": la più utile - la più interessante - la più aggiornata - una grande rivista.

4 copie gratuite

Il fascicolo dicembre 1960 (N. 96) ora in vendita alle edicole sarà offerto in omaggio unitamente ai tre fascicoli precedenti (o ad altri da indicare) a coloro che invieranno la quota di abbonamento per i 12 Numeri del 1961: . . . Lire 3060.

Sconto 10 % agli abbonati al "Corso di Radiotecnica": . . Lire 2754.

HEATH COMPANY

a subsidiary of Daystrom, Inc.

HEATHKIT

Condenser Checker KIT

MODELLO

C-3

REQUISITI

Capacità: 4 scale	10 ÷ 5.000 pF 1000 ÷ 500.000 pF 0,1 ÷ 50 μF 20 ÷ 1000 μF
Prova della dispersione in c.c.	
Tensioni di polarizzazione: 5 gamme	25 Volt c.c. 150 » » 250 » » 350 » » 450 » »
Resistenza: 2 scale	100 ohm ÷ 50 kΩ 10.000 ohm ÷ 5 MΩ
Circuito	Ponte alimentato in alternata per misure di capacità e resistenze. La massima apertura dell'occhio magico rivela il bilanciamento del ponte
Dimensioni	larghezza 25, altezza 16, profondità 12,5 cm.
Peso	3 Kg. circa
Alimentazione	A trasformatore, rettificazione di mezza onda - 110 ÷ 125 Volt c.a.; 50 ÷ 60 Hz

- Semplificazione del cablaggio.
- Tabella di riscontro di tipo a tamburo, illuminata e bilanciata nel suo movimento.
- Interrutori e commutatori individuali per ogni elemento.
- Costruzione funzionale ed elegante.
- Strumento ad indice ad ampia scala, tre scale colorate, ampiezza della scala 112 mm.

RAPPRESENTANTE GENERALE PER L'ITALIA

LARIR soc. r. l. **MILANO** P.zza 5 GIORNATE 1
Telefoni: 795.762 - 795.763

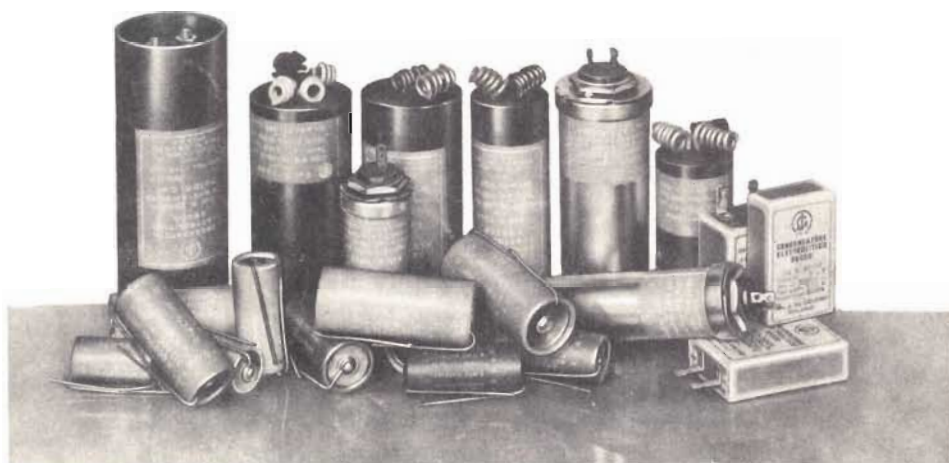
AGENTI ESCLUSIVI DI VENDITA PER: LAZIO - UMBRIA - ABRUZZI
Soc. FILC RADIO - ROMA
Piazza Dante, 10 - Telefono 736.771

EMILIA - MARCHE
Ditta A. ZANIBONI - BOLOGNA
Via Azzogardino, 2 - Telefono 263.359

GELOSO

Dal 1931 su tutti i mercati del mondo

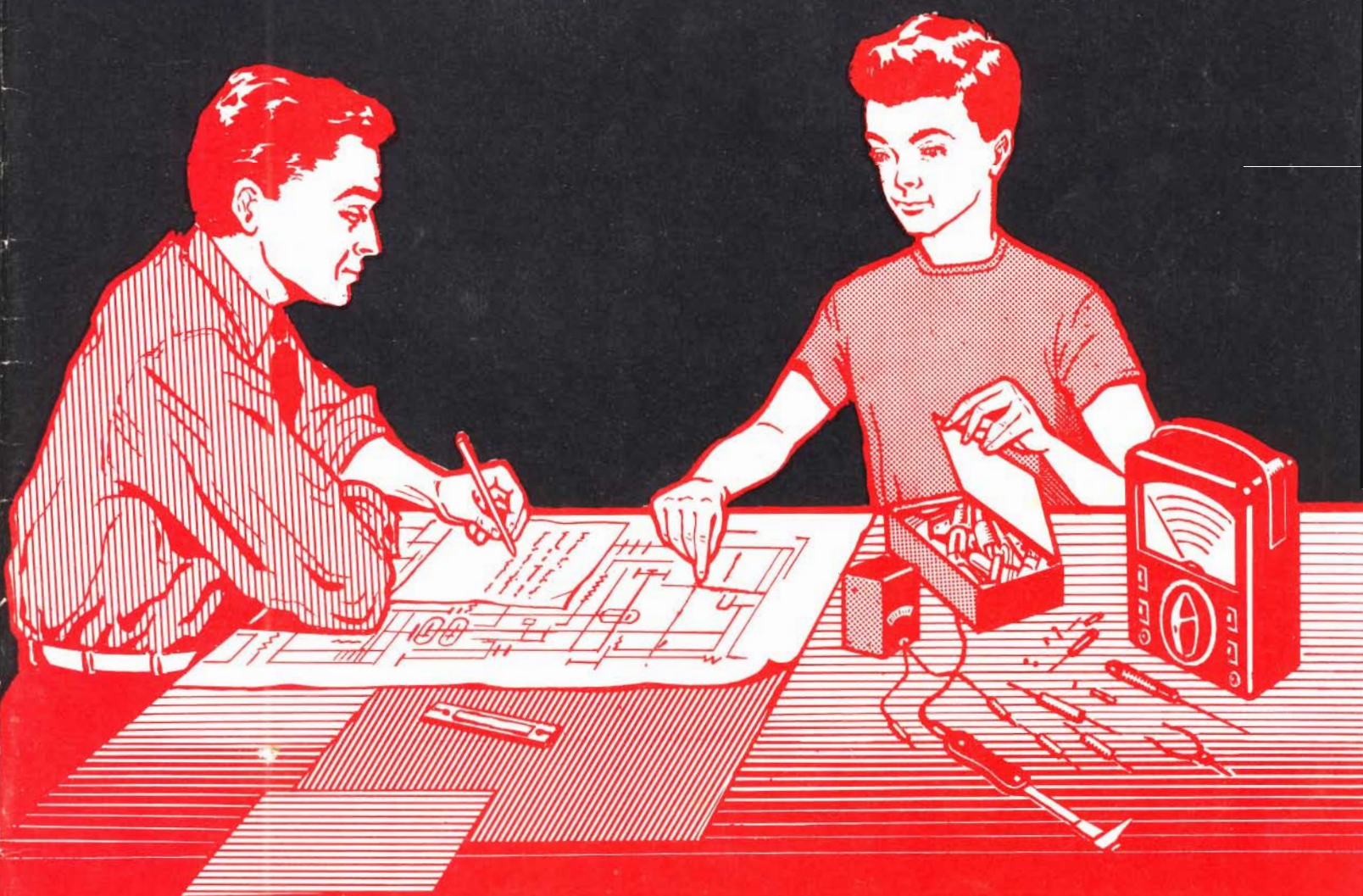
PARTI STACCATE PER RADIO - TELEVISIONE - AMPLIFICAZIONE - APPARECCHI ELETTRONICI

CONDENSATORI ELETTROLITICI

CONDENSATORI VARIABILI

CONDENSATORI AD ARIA

Chiedete il listino delle parti staccate ed il "BOLLETTINO TECNICO GELOSO"

Direzione Centrale: **GELOSO** S.p.A. Viale Brenta 29 - MILANO 808

corso di RADIOTECNICA

pubblicazione settimanale - 17 - 24 dicembre 1960 - un fascicolo lire 150 12° numero

corso di RADIOTECNICA

settimanale a carattere culturale

Direzione, Amministrazione, Pubblicità:
Via dei Pellegrini 8/4 - Telef. 593.478
MILANO

Ogni fascicolo — contenente 3 lezioni — costa lire 150, acquistato alle edicole.

Se l'edicola risulta sprovvista, o si teme di rimanere privi di qualche numero, si chieda invio settimanale direttamente al proprio domicilio a mezzo abbonamento.

Il versamento per ricevere i 52 fascicoli costituenti l'intero Corso è di lire 6500 + I.G.E. = lire 6630. A mezzo vaglia postale, assegno bancario, o versamento sul conto corr. postale 3/41.203 del « Corso di RADIOTECNICA » - Via dei Pellegrini 8-4 - Milano. In ogni caso, scrivere in modo molto chiaro e completo il proprio indirizzo.

L'abbonamento può essere effettuato in qualsiasi momento; si intende comprensivo delle lezioni pubblicate e dà diritto a ricevere tali lezioni, che saranno inviate con unica spedizione.

Estero: abbonamento al Corso, Lit. 8.500. ($ 15). Numeri singoli Lit. 300 ($ 0,50).

Per i cambi di indirizzo durante lo svolgimento del Corso, unire lire 100, citando sempre il vecchio indirizzo.

Fascicoli singoli arretrati — se disponibili — possono essere ordinati a lire 300 cadauno.

Non si spedisce contrassegno.

Distribuzione alle edicole di tutta Italia: Diffus. Milanese . Via Soperga, 57 - Milano.

Direttore responsabile: Giulio Borgogno.

Autorizzaz. N. 5357 - Tribunale di Milano.

Stampa: Intergrafica S.r.l. - Cologno Monzese.

La Direzione non rivende materiale radio; essa può comunicare, se richiesta, indirizzi di Fabbricanti, Importatori, Grossisti ecc. in grado di fornire il necessario ed ai quali il lettore può rivolgersi direttamente.

Alla corrispondenza con richiesta di informazioni ecc. si prega allegare sempre il **francobollo per la risposta**.

Parte del testo e delle illustrazioni è dovuta alla collaborazione del Bureau of Naval Personnel, nonchè al Dept. of the Army and the Air Force - U.S.A.

A chi può essere utile questo Corso? Anzitutto — stante la sua impostazione — il Corso, basato sull'esposizione in forma a tutti accessibile, della radiotecnica, dai suoi elementi basilari alla evoluzione più recente, rappresenta la forma ideale per tutti coloro che intendono dedicarsi all'elettronica, sia come forma ricreativa sia — soprattutto — per l'acquisizione di una professione specializzata che possa procurare loro una posizione di privilegio in seno alla società odierna.

Anno per anno, la nostra civiltà si indirizza sempre più verso questa meravigliosa, si potrebbe dire fascinosa, elettronica, che nel modo più evidente consente sviluppi impensati, progressi grandiosi e una rapida evoluzione di tutti gli altri rami dello scibile che essa tocca e influenza.

L'industria, tutta l'industria, nel senso più ampio, da quella elettrotecnica a quella meccanica, alla metallurgica, alla chimica ecc., con i suoi laboratori di ricerca e le sue fabbriche richiede, e richiederà sempre più, con un ritmo rapidamente crescente, tecnici specializzati con conoscenza dell'elettronica, tecnici specificatamente elettronici e persino operai e impiegati di ogni ordine e categoria con cognizioni di elettronica.

Si può dire che anche le branche commerciali, quelle dei trasporti e persino quelle amministrative con le recenti introduzioni delle calcolatrici, abbisognano di personale che conosca i principi dell'elettronica, le macchine relative, il loro pieno sfruttamento, la eventuale riparazione ecc. e, quanto più in modo completo, quanto meglio.

Nasce, da una tale situazione, una logica conseguenza: per la scelta di una professione o di un mestiere, per un miglioramento della propria posizione sociale, per l'intrapresa di una libera attività o anche per la sola acquisizione di cognizioni che indubbiamente verranno oltremodo utili, è quanto mai opportuno riflettere se non sia conveniente dedicare un po' di tempo allo studio di questa scienza che ha tra l'altro il pregio di rendersi immediatamente attraente, concreta, accessibile e foriera di moltissime soddisfazioni.

A questo scopo appunto, e con questi intenti, è stato redatto questo Corso.

Non mancano invero altri corsi (specie per corrispondenza) o scuole di radiotecnica, nè mancano (sebbene siano in numero del tutto inadeguato) scuole statali o pareggiate ma la struttura e l'impostazione che caratterizzano queste 156 lezioni sono alquanto particolari, presentando non pochi vantaggi sulle diverse altre forme di cui si è detto.

Anzitutto vogliamo porre in evidenza **il fattore economico.**

Frequentare regolarmente, durante tutto l'anno, una scuola è certo il modo più logico — anche se non il più rapido — per apprendere ma, tralasciando il fatto che rarissimi sono gli Istituti di radiotecnica, è a tutti possibile dedicarsi esclusivamente, e per l'intero anno, allo studio? Noi riteniamo che chi può farlo costituisca oggi assai più l'eccezione che la regola. Ciò significa infatti poter disporre liberamente del proprio tempo senza avere la necessità di un contemporaneo guadagno: il nostro Corso permette a chiunque di studiare a casa propria, nelle ore libere dal lavoro, senza abbandonare o trascurare quest'ultimo. Ciò caratterizza invero anche altri corsi, ma il vantaggio economico diviene notevole ed evidentissimo se si considera che di fronte all'esborso, anche se rateale, di quasi 80.000 lire che i corsi per corrispondenza richiedono, seguendo il nostro Corso la spesa in un anno risulta di poco più di 7500 lire (150 lire alla settimana presso un'edicola) o di 6630 lire totali, con recapito postale, settimanale, delle lezioni a domicilio.

E' superfluo dire che la Modulazione di Frequenza, i transistori, i circuiti stampati, la trasmissione, il telecomando ecc. sono argomenti integrali del Corso e non costituiscono motivo di corsi speciali, aggiunti o particolari.

Le lezioni di questo Corso — a differenza di molte altre — non sono stampate con sistemi di dispensa, a ciclostile, o con sistemi più o meno analoghi, derivanti cioè da un originale battuto a macchina da scrivere; esse sono stampate in uno stabilimento grafico, con chiari caratteri tipografici da cui deriva una assai più agevole lettura e — fattore certamente di non secondaria importanza — un contenuto molto più ampio, corrispondendo una pagina a stampa a tre o quattro pagine di quelle citate. Il lettore avrà, alla fine del Corso, un volume di ben 1248 pagine di grande formato!

Chiunque, indipendentemente dall'età, dalla professione e dalle scuole compiute **può seguire il Corso.** Alle esposizioni teoriche si abbinano numerose, attraenti, istruttive ed utili descrizioni che consentono la realizzazione di ricevitori, amplificatori, strumenti vari e persino di trasmittenti su onde corte.

A questo proposito è sintomatico il fatto che la Direzione non vuole assolutamente assumere la fisionomia di un fornitore o commerciante di materiale radio, rivendendo agli allievi le parti necessarie. Il materiale occorrente l'interessato può acquistarlo dove e come meglio crede e, assai spesso anzi, già ne dispone. Viene così evitato l'acquisto forzoso, caratteristico più o meno di tutti gli altri corsi.

Anche chi è già radiotecnico, anche chi ha seguito o segue altri corsi troverà il massimo tornaconto in questo completo ed aggiornato lavoro. Molte nozioni, è logico, saranno note, altre un po' meno e sarà utile rinfrescarle, e il tutto infine costituirà un manuale di consultazione, prezioso tanto per la teoria esposta quanto per i numerosi schemi, per le tabelle, per i grafici, gli elenchi, i dati, il vocabolario dei termini ecc.

Concludendo, si può affermare che questo **Corso di Radiotecnica** oltre che come insegnamento graduale si presenta come **enciclopedia e rivista assieme** ciò che permette di formare — con modestissima spesa — **il più completo, ricco, utile e pratico volume di radiotecnica di cui sia dato oggigiorno disporre.**

CIRCUITI con INDUTTANZA-CAPACITA'- RESISTENZA

CIRCUITI a C.A.

Nelle precedenti lezioni abbiamo considerato come femomenti a sè stanti le proprietà fondamentali dei circuiti induttivi, capacitivi e resistivi, ed abbiamo stabilito quanto segue:

1) La caduta di tensione ai capi di una resistenza è in fase con la corrente.
2) La caduta di tensione ai capi di una induttanza *è in anticipo* di 90° rispetto alla corrente.
3) La caduta di tensione ai capi di un condensatore *è in ritardo* di 90° rispetto alla corrente.

Queste tre relazioni sono rese evidenti dal grafico vettoriale della **figura 1.** In esso, i vettori indicano l'angolo di fase con la loro direzione, mentre la loro lunghezza dipende dai valori scelti per un dato circuito. Così se I è il valore efficace della corrente sia in L che in C che in R, l'ampiezza delle rispettive cadute di tensione è data da:

$$E_R = IR \qquad E_L = IX_L = I\,(2\pi fL) \qquad E_C = IX_C = I\,(1:2\pi fC)$$

La corrente alternata che percorre un circuito varia tuttavia nel tempo. Anche la caduta di tensione ai capi dei diversi elementi varia nel tempo, ma la medesima variazione non è sempre presente in ciascuno di essi nel medesimo tempo. Per questo motivo la seconda legge di Kirchhoff (allorchè viene applicata ai circuiti a c.a.) deve essere intesa nel senso che, *in ogni istante*, la somma delle cadute di tensione presenti in un circuito chiuso è eguale alla somma degli aumenti di tensione, ossia alla tensione totale applicata.

Nella **figura 2** è illustrato un circuito in serie L-C-R. I simboli e, e_R, e_L ed e_C rappresentano i valori *istantanei* della tensione. Si ha quindi:

$$e = e_R + e_L + e_C$$

Questa relazione è vera in ogni istante dei periodi della corrente alternata.

Una tensione istantanea non può però essere determinata mediante la legge di Ohm, la quale è valida unicamente per le tensioni massime, efficaci o medie, come vedremo a suo tempo. Tuttavia è possibile determinare perfettamente una quantità di c.a. allorchè sono noti i suoi valori *efficaci* e di fase rispetto ad alcuni valori standard. Pertanto — come abbiamo già visto a suo tempo — il metodo dell'analisi vettoriale nella quale la fase viene rappresentata sotto forma di direzione, e l'ampiezza come valore efficace, può essere usato per sommare algebricamente sia tensioni che correnti sinusoidali.

Supponiamo, ad esempio, che un generatore a c.a. producente una tensione di 100 volt, con una frequenza di 60 Hertz sia collegato ad un circuito avente una resistenza di 6 ohm in serie ad una reattanza induttiva di 8 ohm, come è illustrato alla figura **3-A.** Come abbiamo dimostrato precedentemente, a proposito dei circuiti L-R, la somma vettoriale delle cadute di tensione ai capi della resistenza e della induttanza deve essere eguale alla tensione applicata. Dal momento che E_R è in fase con I, mentre E_L è in anticipo di 90° rispetto ad I, la loro somma vettoriale, pari a 100 volt, è l'ipotenusa del triangolo rettangolo (figura **3-B**).

Si ha quindi, per il teorema di Pitagora:

$$E^2 = E_R^2 + E_L^2$$

Sostituendo in detta equazione i valori equivalenti:

$$(100)^2 = (IR)^2 + (IX_L)^2 \quad \text{ossia} \quad (100)^2 = 36\,I^2 + 64\,I^2$$

$$(100)^2 = 100\,I^2 \quad \text{da cui} \quad I^2 = 100 \quad \text{e quindi} \quad I = 10$$

E_R, vale a dire la caduta di tensione ai capi della resistenza, è data dal prodotto IR, che è 10 volte 6 = 60 volt. E_L, caduta di tensione ai capi della induttanza, è data dal prodotto IX_L, corrispondente a 10 volte 8 = 80 volt. La tangente dell'angolo di fase θ corrisponde a $E_L:E_R$, ossia $X_L:R = 8:6 = 1{,}33$.

Dalla tabella delle funzioni trigonometriche corrispondenti alle frazioni decimali di un grado, riportata alla lezione 24ª, rileviamo che la tangente dell'angolo di fase $\theta = 1{,}33$ corrisponde a 53°,1', per cui in quel circuito, tale è il ritardo della corrente rispetto alla tensione. Il risultato è rappresentato graficamente dalla **figura 3-C.**

In maniera analoga è possibile determinare la corrente, la tensione e l'angolo di fase di un circuito in serie del tipo R-C. La **figura 4-A** illustra un circuito costituito da una resistenza di 3 ohm e da una reattanza capacitiva di 4 ohm in serie ad una sorgente di energia che eroga una tensione di 300 volt a 50 Hertz. Come nel caso precedente, la somma vettoriale delle cadute di tensioni presenti ai capi della resistenza e della capacità equivale alla tensione totale. Dal momento che E_R è in fase con I, mentre E_C è in ritardo di 90° su I, la loro somma vettoriale, pari a 300 volt, corrisponde alla ipotenusa del triangolo rettangolo (**figura 4-B**).

Si ha quindi:

$$E^2 = E_R^2 + E_C^2$$

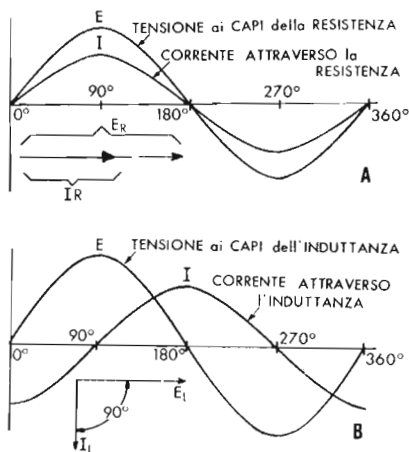



Fig. 1 — Viene illustrato con curve e rappresentazione vettoriale: in A, l'andamento tra la caduta di tensione e la corrente ai capi di una resistenza (in fase); in B ai capi di una induttanza (anticipo 90°); in C, ai capi di un condensatore (ritardo 90°).

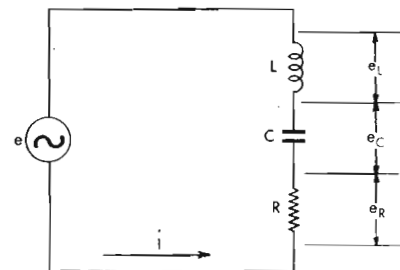



Fig. 2 — Circuito con L-C-R in serie. I simboli rappresentano valori istantanei (per cui $e = e_R + e_L + e_C$) che non consentono l'applicazione della legge di Ohm.

nella quale, sostituendo i valori corrispondenti, si ottiene:

$$(300)^2 = (3 \times I)^2 + (4 \times I)^2 = 25\, I^2$$

Estraendo la radice quadrata di entrambi i membri dell'equazione, si ha $300 = 5\,I$, da cui $I = 300:5 = 60$ ampère.

E_R, ossia la caduta di tensione ai capi della resistenza, equivale al prodotto IR, ossia a 60 volte $3 = 180$ volt. E_C, ossia la caduta di tensione presente ai capi del condensatore, equivale a IX_C, ossia 60 volte $4 = 240$ volt. La tangente dell'angolo di fase θ è $E_C : E_R = X_C : R = 4:3 = 1{,}33$. Dalla tabella già citata (lezione 24ª), rileviamo nuovamente che tale valore corrisponde a 53,1°. La corrente in questo circuito è in anticipo rispetto alla tensione applicata di 53,1°; il grafico della figura 4-**C** illustra tale risultato.

CIRCUITO in SERIE L-C-R

Quando i tre elementi basilari di un circuito, ossia la resistenza, l'induttanza e la capacità, si trovano riuniti in un unico circuito, le cadute di tensione, la corrente e gli angoli di fase possono essere determinati combinando tra loro i metodi sopra descritti. La **figura 5-A** rappresenta un circuito in serie *L-C-R* contenente una resistenza ohmica di 6 ohm, una reattanza induttiva di 8 ohm, ed una reattanza capacitiva di 16 ohm, collegate ai capi di una sorgente di tensione che eroga 300 volt c.a. a 50 Hertz.

Le sezioni **B** e **C** della figura sono rispettivamente le rappresentazioni grafiche e vettoriale di tale circuito. Poichè la corrente di un circuito in serie è eguale in tutti i suoi punti, I costituisce il vettore di riferimento. Quindi E_R è in fase con I, E_L è in anticipo su I di 90°, ed E_C ritarda, sempre rispetto ad I, di 90°. E_C ed E_L sono perciò sfasate di 180° tra loro e la loro somma vettoriale è semplicemente la loro differenza.

Così, dal momento che E_C è maggiore di E_L, la tensione reattiva risultante è $E_C - E_L$, ossia:

$$16\,I - 8\,I = 8\,I$$

La tensione reattiva risultante è in ritardo rispetto ad I di 90° poichè ha la medesima direzione di E_C, ossia del vettore maggiore.

La sezione **D** della figura è il diagramma vettoriale che ne deriva. Dalla figura apprendiamo che:

$$E^2 = (IR)^2 + (IX)^2$$

Sostituendo i valori alle lettere, otteniamo:

$$(300)^2 = 36\, I^2 + 64\, I^2 = 100\, I^2$$

dalla quale, estraendo la radice quadrata si ha:

$$300 = 10 \times I, \quad \text{ossia} \quad I = 300:10 = 10 \text{ ampère.}$$

La caduta di tensione ai capi della resistenza, E_R, corrisponde a IR, ossia 30 volte $6 = 180$ volt. La caduta di tensione ai capi dell'induttanza è $E_L = I\,X_L = 30$ volte $8 = 240$ volt, ed infine, la caduta di tensione ai capi del condensatore è $E_C = I\,X_C = 30$ volte 16, ossia 480 volt.

Dal momento che la maggior reattanza capacitiva esclude completamente la reattanza induttiva, il circuito è capacitivo, per cui la corrente è in anticipo rispetto alla tensione, di un ammontare pari all'angolo di fase θ. La tangente di θ è data da:

$$\frac{X_C - X_L}{R} = 8:6 = 1{,}33,$$

ossia, come dalla citata tabella, l'angolo è eguale a 53°,1'.

Il circuito in serie *L-C-R* mette in rilievo i seguenti importanti punti:

1) La corrente che percorre un circuito *L-C-R* può essere in ritardo o in anticipo rispetto alla tensione, rispettivamente se è maggiore X_L o X_C.

2) Una caduta di tensione capacitiva in un circuito in serie si sottrae sempre direttamente dalla caduta di tensione induttiva.

3) La caduta di tensione presente ai capi di un elemento avente una reattanza, può avere un valore efficace maggiore di quello della tensione applicata.

Come è detto in quest'ultimo punto ed illustrato nel circuito della figura 5, E_C ha un valore efficace di 480 volt, nonostante la tensione applicata sia di 300 volt. Ciò non può assolutamente accadere in un circuito funzionante con c.c. in quanto le cadute di tensione si sommano aritmeticamente, per cui ogni singola caduta di tensione presente ai capi di uno dei componenti è sempre inferiore alla tensione totale. Il fatto che invece con la c.a. possa verificarsi il contrario è già stato spiegato sopra quando si disse che la legge di Kirchhoff può essere applicata soltanto a valori *istantanei* della tensione presente.

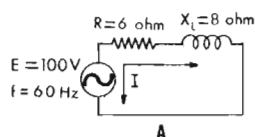



Fig. 3 — Circuito con R ed L e relativa rappresentazione vettoriale e sinusoidale degli sfasamenti tra corrente e tensione.

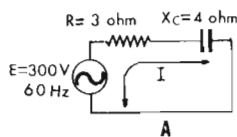
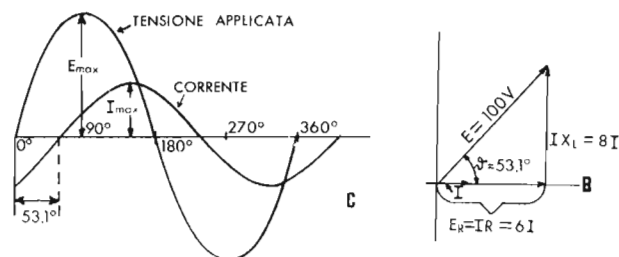
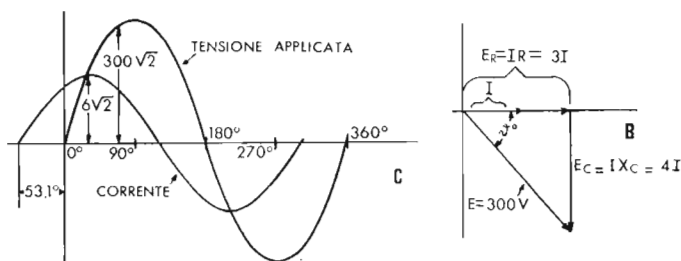



Fig. 4 — Circuito con R e C e relativa rappresentazione vettoriale e sinusoidale degli sfasamenti tra corrente e tensione.

ANALISI dei CIRCUITI L-C-R

Le varie relazioni sopra esposte possono ora essere generalizzate, ed è possibile calcolare la corrente, l'impedenza, le cadute di tensione e gli angoli di fase in qualsiasi circuito in serie del tipo *L-C-R*. La **figura 6-A** illustra un circuito in serie contenente una induttanza *L*, una capacità *C* ed una resistenza *R*. Il circuito è collegato ai capi di una sorgente che eroga una tensione di ampiezza *E* e di frequenza *f*. La sezione **B** della figura illustra l'impostazione del diagramma vettoriale.

La caduta di tensione, *IR*, presente ai capi della resistenza è espressa in fase con la corrente, *I*. La caduta di tensione presente ai capi dell'induttanza è rappresentata al di sopra dell'asse zero; quella presente ai capi della capacità si trova al di sotto. La sezione **C** della fifura illustra i vettori risultanti; ed il triangolo della tensione (avente E_R come base ed $E_L - E_C$ come altezza), è riportato nella sezione **D** della figura.

La tensione risultante, *E* — pari alla tensione totale applicata — è l'ipotenusa, per cui si ha che:

$$E^2 = I^2 R^2 + I^2 (X_L - X_C)^2 \quad \text{ossia} \quad E^2 = I^2 [R^2 + (X_L - X_C)^2]$$

la cui radice quadrata è:

$$E = I\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad \text{da cui} \quad I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

Inoltre, dal momento che in un circuito a c.a. *I* è eguale a $E:Z$, si ha che *Z*, ossia l'impedenza totale del circuito *L-C-R*, corrisponde alla radice quadrata del quadrato della resistenza, più il quadrato della differenza delle reattanze, ossia: $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$

Dal triangolo della tensione apprendiamo che la corrente è in ritardo rispetto alla tensione dell'angolo θ, per cui, come abbiamo visto, si ha che:

$$\tan\theta = \frac{E_L - E_C}{E_R}$$

da cui, mediante la sostituzione e l'elisione:

$$\tan\theta = \frac{X_L - X_C}{R}$$

In modo analogo, in coseno di θ è eguale a $E_R : E$, ossia

$$\text{Cos. } \theta = \frac{R}{Z}, \text{ e quindi } Z = \frac{R}{\cos\theta}.$$

Questi risultati possono essere trascritti sotto un'altra forma. Poichè:

$$X_L = 2\pi fL \quad \text{ed} \quad X_C = 1 : 2\pi fC,$$

si ha che:

$$Z = \sqrt{R^2 + (2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC})^2}$$

In tutti i calcoli precedenti, i valori di *E* e di *I* rappresentano i valori efficaci di tensione e di corrente.

Dalle formule generali sopraenunciate si può vedere che, se la reattanza induttiva X_L è maggiore della reattanza capacitiva X_C, la caduta di tensione induttiva è maggiore di quella capacitiva, e la somma algebrica è una caduta di tensione induttiva; vale a dire la tensione è in anticipo di 90° rispetto alla corrente. Se la reattanza capacitiva è maggiore di quella induttiva avviene il contrario, ossia la somma algebrica è capacitiva; da ciò deriva che la corrente è in anticipo di 90° rispetto alla tensione. Per ultimo, se la reattanza induttiva equivale a quella capacitiva, la somma algebrica è zero, e si verifica un fenomeno interessante detto **risonanza**. In questo caso le cadute di tensione induttiva e capacitiva sono di eguale ampiezza e reciprocamente sfasate di 180°; conseguentemente la loro somma vettoriale è zero. In pratica, ciò significa che in ogni istante la caduta della tensione e_C presente ai capi della capacità, sommata alla caduta presente ai capi dell'induttanza dà per risultato zero, il che espresso come equazione è:

$$e_C + e_L = 0 \quad \text{ossia} \quad e_C = -e_L$$

Questi risultati sono espressi graficamente alla **figura 7-A**. Si dice che un circuito in serie *L-C-R* è risonante quando $X_L = X_C$. Inoltre, dal momento che non esiste alcuna tensione reattiva, l'impedenza del circuito equivale alla resistenza alla c.c. del circuito stesso, e la corrente è limitata soltanto da quest'ultima. L'angolo di fase θ ha una tangente pari a zero, ed un coseno pari a 1, per cui θ = 0°, il che significa che la corrente che scorre nel circuito è in fase con la tensione applicata. La figura 7-**B** illustra l'espressione vettoriale di quanto abbiamo affermato.

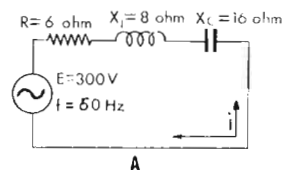



Fig. 5 — Circuito con L-C-R e rappresentazione vettoriale e sinusoidale degli sfasamenti reciproci.

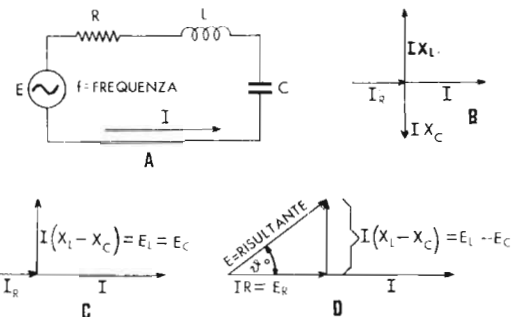
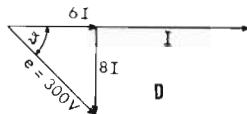
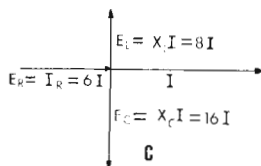
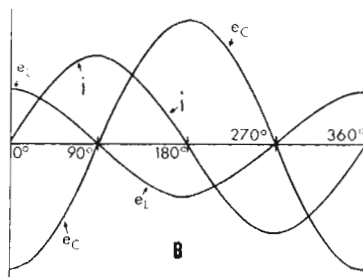



Fig. 6 — Circuito con L-C-R. In B è l'impostazione sotto forma vettoriale; in C si hanno i vettori risultanti; in D è riportato il triangolo della tensione risultante.

È importante notare tuttavia che, sebbene la somma vettoriale delle tensioni reattive sia zero, la tensione presente ai capi di ogni singolo elemento sarà notevolmente alta, in quanto la caduta di tensione presente ai capi di ognuno di essi è determinata dalla relativa reattanza e dalla corrente che lo percorre. La corrente che passa in un circuito risonante è massima in quanto è limitata soltanto dal fattore *R*, per cui le cadute di tensione presenti ai capi degli elementi reattivi hanno anch'esse il valore massimo, e possono essere molto superiori alla tensione applicata.

Un circuito in serie del tipo *L-C-R* può, nei confronti della sorgente di alimentazione alla quale è collegato, comportarsi come uno dei seguenti tipi:

1) Un circuito RL ($X_L > X_C$); la reattanza induttiva è maggiore di quella capacitiva.
2) Un circuito RC ($X_C > X_L$); la reattanza capacitiva è maggiore di quella induttiva.
3) Un circuito R ($X_L = X_C$); le due reattanze sono eguali.

La frequenza di risonanza di un circuito *L-C-R* può essere determinata in base alle reattanze individuali, in quanto entrambe dipendono dalla frequenza. Sappiamo che la reattanza induttiva è pari a $2\pi fL$, mentre quella capacitiva è pari a $1:2\pi fC$. Ne consegue che, dal momento che alla frequenza di risonanza $X_L = X_C$, si ha:

$$2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC}$$

da cui, risolvendo rispetto a f:

$$f^2 = \frac{1}{4\pi^2 LC} \quad \text{ossia} \quad f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Questa è la frequenza alla quale si verifica la risonanza di un circuito in serie del tipo *L-C-R*. Dalla formula si può vedere che, indipendentemente dai valori di *L* e di *C*, il circuito avrà sempre *una sua frequenza* di risonanza. Così si può dedurre che se la sorgente di frequenza è fissa, è possibile fare in modo che il circuito risuoni a quel dato valore corrispondente.

CIRCUITI L-C in PARALLELO

Nello studio della teoria relativa alla induttanza ed alla capacità, abbiamo visto che i circuiti in parallelo del tipo *L-R* e *C-R* differiscono dai rispettivi circuiti in serie in quanto la tensione applicata è sempre la medesima; le correnti sono reciprocamente sfasate di 90°, e la corrente di linea risultante è in ritardo (*L-R*) o in anticipo (*C-R*) rispetto alla tensione, di un angolo inferiore a 90°. Inoltre, abbiamo visto che la corrente di linea è maggiore di quella che scorre in ognuno dei rami paralleli, e che di conseguenza l'impedenza totale è inferiore a quelle individuali dei singoli componenti.

A differenza di quanto avviene in un circuito reattivo in serie, un aumento della resistenza di un circuito in parallelo diminuisce la corrente nel ramo corrispondente, ed aumenta la efficacia dell'induttanza o della capacità, il che rende il circuito maggiormente reattivo man mano che l'angolo di sfasamento θ si avvicina ai 90°.

La condizione limite in questo caso sarebbe costituita da una resistenza di valore ohmico infinito; il ramo corrispondente potrebbe essere considerato allora praticamente aperto e la corrente e la tensione presenti ai capi dell'elemento reattivo risulterebbero sfasate di 90°.

La diminuzione del valore resistivo in un circuito in parallelo provoca invece un aumento di corrente nel ramo corrispondente, e diminuisce il rendimento effettivo della capacità o dell'induttanza, il che rende il circuito stesso sempre più resistivo, man mano che θ si approssima a zero. In questo caso la condizione limite sarebbe costituita da una resistenza di valore ohmico pari a zero, tale cioè da cortocircuitare addirittura l'elemento reattivo, e la tensione e la corrente risulterebbero in fase.

Se uniamo i circuiti in parallelo *L-R* e *C-R* in un unico circuito *L-C-R*, si verificano tra detti elementi nuove relazioni, complicate dallo speciale comportamento di *L* e di *C* alla frequenza di risonanza. Pertanto, ignorando per il momento l'effetto della resistenza nel circuito stesso, possiamo considerare esclusivamente le caratteristiche del circuito *L-C*. La **figura 8-A** illustra lo schema elementare di un circuito di tale tipo: in esso è presente una reattanza induttiva di 100 ohm, una reattanza capacitiva di 50 ohm e, ai capi delle stesse, è applicata una tensione di 300 volt. La rappresentazione grafica delle correnti è data dalla figura 8-**B**. Si noterà che dal momento che la tensione applicata è sempre la medesima, essa può essere utilizzata come valore di riferimento. La corrente che percorre l'induttanza è perciò rappresentata in ritardo di 90° rispetto alla tensione, e quella

X_L I = E_L
IR = E
I
X_C I = E_C
CIRCUITO R-L-C
B

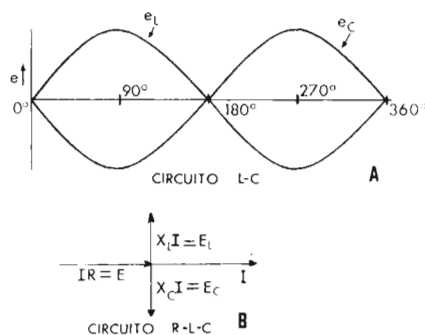



Fig. 7 — Caso classico di eguaglianza tra reattanza induttiva e reattanza capacitiva (risonanza): la somma vettoriale è zero. In B espressione vettoriale relativa, prendendo in considerazione anche R.

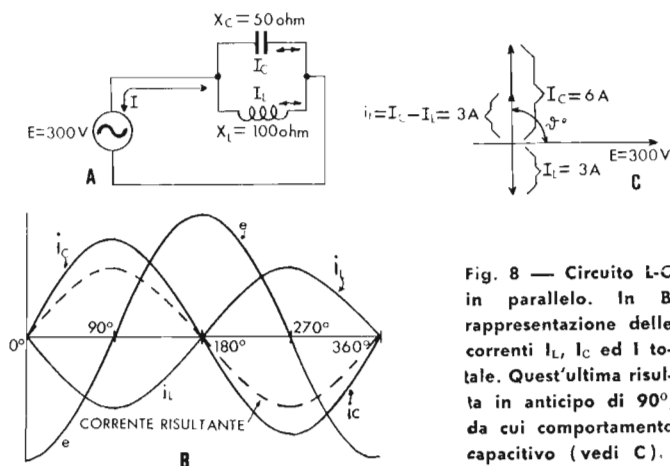



Fig. 8 — Circuito L-C in parallelo. In B rappresentazione delle correnti I_L, I_C ed I totale. Quest'ultima risulta in anticipo di 90°, da cui comportamento capacitivo (vedi C).

che percorre il condensatore è rappresentata invece in anticipo di 90°; ne consegue che le due correnti sono reciprocamente sfasate di 180°.

La corrente che percorre l'induttanza è data da $I_L = E : X_L = 300 : 100 = 3$ ampère, e quella che percorre il condensatore è data da $I_C = E : X_C = 300 : 50 = 6$ ampère.

Dal momento che dette correnti sono sfasate di 180° esse possono essere sommate algebricamente al fine di ottenere il valore effettivo della corrente di linea, ossia $I_T = I_C - I_L = 3$ ampère.

La corrente totale ammonta dunque a 3 ampère, ed è rappresentata dalla linea tratteggiata nella sezione B della figura. Essa è in *anticipo* di 90° rispetto alla tensione applicata, per cui il circuito si comporta nei confronti della sorgente di tensione come un circuito capacitivo in quanto l'effetto della reattanza induttiva è completamente annullato dalla maggiore reattanza capacitiva; ciò è illustrato dal diagramma vettoriale della figura 8-**C**.

L'impedenza totale di questo tipo di circuito in parallelo è di particolare interesse. Infatti, in tutte le analisi precedenti, si è constatato che l'impedenza totale di qualsiasi circuito in parallelo — sia agli effetti della c.c. che della c.a. — è sempre inferiore a quella di ogni singolo componente. Ma, nel nostro caso, si ha che $Z_T = E_T : I_T = 300 : 3 = 100$ ohm. Un valore di impedenza totale di 100 ohm per questo circuito è superiore ad X_C (50 ohm), e, in questo caso, pari ad X_L (100 ohm).

Tale risultato avrebbe potuto essere raggiunto anche mediante la formula nota per determinare l'impedenza di un circuito in parallelo, ossia:

$$Z_T = \frac{X_L \times X_C}{X_L + X_C}$$

nella quale, sostituendo i valori, avremmo avuto:

$$Z_T = \frac{100 \times (-50)}{100 + (-50)}$$

Dal momento però che X_L ed X_C sono anche reciprocamente sfasate di 180°, i loro valori possono essere sommati algebricamente. Il segno — (meno) sta ad indicare la reattanza capacitiva, convenzionalmente considerata di segno contrario alla reattanza induttiva. Pertanto $Z_T = -100$ ohm.

Dalla formula $Z_T = \frac{X_L \times X_C}{X_L + X_C}$ è interessante ed importante constatare che, alla frequenza di risonanza, (quella cioè per la quale $X_L = X_C$), il denominatore della frazione è eguale a zero, per cui l'impedenza totale assume un valore tendente all'infinito.

Naturalmente, tanto L quanto C non possono mai offrire, in pratica, una pura reattanza al circuito, per cui si può dire che, alla frequenza di risonanza, un circuito del tipo L-C in parallelo offre *la massima impedenza* nei confronti della tensione applicata, mentre la corrente di linea assume un valore *minimo*. Al di quà e al di là di tale frequenza, l'impedenza totale diminuisce rapidamente dal suo massimo mentre la corrente aumenta con la medesima rapidità.

Un ulteriore esame della formula rivela che, nel punto in cui una delle reattanze è il doppio dell'altra (vedere l'esempio di cui sopra), l'impedenza totale del circuito equivale a quella delle due che ha il valore più alto. Man mano che aumenta la differenza tra i due valori, l'impedenza totale tende a raggiungere un valore compreso tra X_L ed X_C, sempre maggiore del più piccolo e minore del più grande.

CIRCUITI in PARALLELO L-C-R

Ora ci è possibile vedere il circuito in parallelo L-C-R come un circuito in parallelo essenzialmente L-C (soggetto alla reciproca azione di L e di C) al quale sia stato aggiunto un valore di R, ossia di resistenza ohmica pura.

La **figura 9-A** illustra un esempio. In corrispondenza di qualsiasi punto di non risonanza (cioè X_L e X_C con valori diversi), le correnti presenti in L ed in C saranno diverse e sfasate di 180°. La corrente totale, come abbiamo già visto, sarà perciò prevalentemente induttiva o capacitiva a seconda di quale dei due componenti si oppone meno alla tensione applicata.

Nei confronti del generatore, il circuito risulterà perciò o una induttanza o una capacità collegata in parallelo ad una resistenza, (R). La corrente di linea risultante sarà quindi la somma vettoriale della corrente reattiva e di quella resistiva, come se il circuito comprendesse una singola reattanza ed una resistenza.

Ad esempio, il circuito A della figura 9 illustra il caso

Fig. 9 — Circuito L-C in parallelo, con presa in considerazione di R. In B andamento delle correnti ed in C rappresentazioni vettoriali.

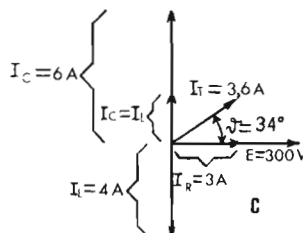
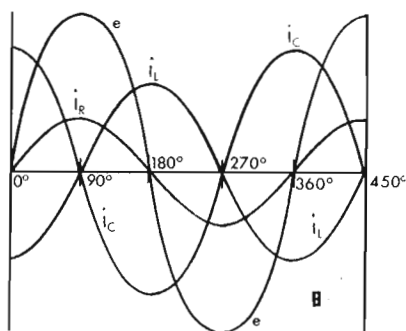
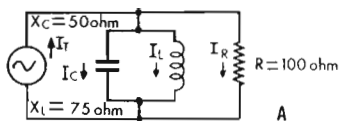



Fig. 10 — Con un carico passivo e corr. continua, la potenza è eguale a $I^2 \times R$.

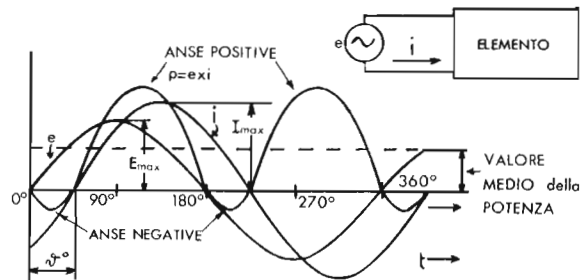
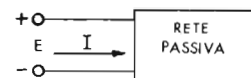



Fig. 11 — Corrente, tensione e potenza istantanea in un circuito con sfasamento zero.

di una tensione di ingresso di 300 volt, di una reattanza induttiva di 75 ohm, di una reattanza capacitiva di 50 ohm, e di una resistenza di 100 ohm. La figura 9-**B** illustra graficamente le correnti del circuito. Non è difficile notare che le correnti reattive sono reciprocamente sfasate di 180° e che tale sfasamento ammonta a 90° nei confronti della corrente resistiva, la quale è in fase con la tensione applicata. Perciò si ha che $I_L = 300:75 = 4$ ampère; $I_C = 300:50 = 6$ ampère ed $I_R = 300:100 = 3$ ampère.

La corrente totale reattiva, I_X, corrisponde quindi a 2 A (ossia $I_C - I_L$). Come risulta dalla figura 9-**C**, la corrente totale di linea è pari alla somma vettoriale della corrente reattiva (capacitiva) e di quella resistiva, ossia:

$$I_T = \sqrt{I_X^2 + I_R^2} = \sqrt{13} = 3{,}6 \text{ ampère}$$

Dal che si deduce che l'impedenza totale del circuito (Z_T) è pari a $E:I_T = 300:3{,}6 = 83$ ohm.

Il coseno dell'angolo di fase θ che rappresenta il ritardo della corrente di linea rispetto alla tensione applicata è pari a $Z:R = 83:100 = 0{,}83$, per cui, dalle tabelle, si ricava che lo sfasamento totale ammonta a 34°.

Nel punto di risonanza, le due correnti reattive si annullano a vicenda, lasciando la corrente di linea costituita dalla sola corrente resistiva; perciò si ha:

$$I_C - I_L = 0; \; I_T = I_R; \; I_T = E:R; \; Z_T = R;$$

$$\text{Cos } \theta = Z:R = 1 \quad \text{ed infine} \quad \theta = 0°$$

La corrente e la tensione di linea sono effettivamente in fase ai capi della resistenza. Nuovamente si deve notare che una resistenza collegata in parallelo ad un circuito *L-C* tende ad annullare l'effetto della componente reattiva, come si è visto sopra a proposito dei circuiti in parallelo *L-R* e *C-R*. Alla frequenza di risonanza, l'impedenza totale del circuito è pari al valore ohmico, per cui vengono annullate le caratteristiche essenziali del circuito risonante in parallelo, che si risolvono nella massima impedenza opposta alla tensione e quindi alla corrente di linea.

La POTENZA nei CIRCUITI a C.A.

Nell'analisi dei circuiti a c.c. l'ammontare della potenza assorbita da una resistenza, ovvero dalla resistenza di un circuito, può essere facilmente determinata mediante la legge di Joule, secondo la quale $P = I^2R$, in cui P = potenza assorbita in watt, I = corrente totale in ampère ed R = resistenza totale in ohm. Dal momento che la caduta di tensione presente ai capi di una resistenza R è pari ad IR, la formula suddetta può essere trascritta come segue: $P = IR \times I = I^2R$.

Questa espressione per determinare la potenza nei circuiti a c.c. è di uso generale, e può essere applicata a qualsiasi circuito passivo (ossia che non contiene sorgenti interne di energia). Un esempio è illustrato alla **figura 10**. La potenza assorbita è eguale al prodotto tra la tensione applicata e la corrente di linea, ossia $P = EI$.

Nei confronti invece dei circuiti a c.a., la determinazione della potenza assorbita implica un processo di calcolo più complesso. Poichè tanto la tensione quanto la corrente variano continuamente, il prodotto e per i (tensione e corrente istantanea) è anche una funzione del tempo, e definisce la potenza istantanea p. Tuttavia, in generale, tali due quantità sono sfasate di un certo angolo θ, come abbiamo già visto; la **figura 11** è quella di un grafico che rappresenta la corrente, la tensione, e la potenza istantanee in un circuito avente un angolo di sfasamento pari a 0°. Tale grafico rivela diverse importanti caratteristiche della potenza istantanea:

1) Il grafico della potenza varia con una frequenza doppia di quella della tensione, ossia compie due cicli interi durante un solo ciclo di tensione e di corrente.

2) La curva della potenza ha alternanze positive e negative. Perciò, durante una parte del periodo, p è negativa, il che va inteso nel senso che l'energia viene restituita al generatore in tale frazione di tempo. Tale caratteristica è di notevole importanza in quanto dimostra che, in un circuito a c.a. l'energia passa dalla sorgente al circuito durante una parte del ciclo, e viceversa, per cui, se la potenza resa è pari a quella assorbita, il consumo è zero.

L'area che si trova al di sotto delle anse positive della curva della potenza, rappresenta l'energia fornita al carico, e quella sottostante alle anse negative rappresenta l'energia resa da questo alla sorgente. In considerazione di ciò, è possibile enunciare le seguenti caratteristiche generali:

1) Se in un ciclo (360°) l'area sottostante alle anse positive della curva di p è maggiore di quella sottostante alle anse negative, l'energia fornita dal generatore al carico è positiva, ossia si ha un consumo di energia.

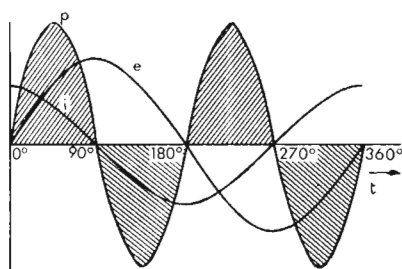



Fig. 12A — Andamento della tensione, della corrente e della potenza in un circuito a c.a. capacitivo.

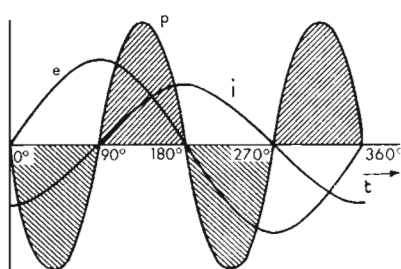



Fig. 12B — Andamento della tensione, della corrente e della potenza in un circuito a c.a. induttivo.

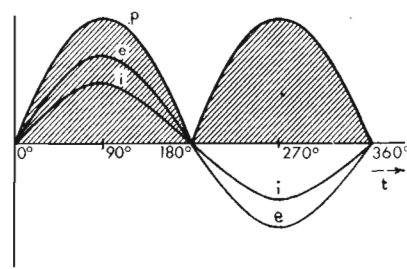



Fig. 12C — Andamento della tensione, della corrente e della potenza in un circuito a c.a. resistivo.

2) Se dette due aree sono eguali, l'energia consumata è zero.

3) Se si ha il caso opposto a quello del N. 1, l'energia viene praticamente erogata dal carico e consumata o assorbita dalla sorgente.

Da ciò possiamo dedurre che:

1) Se l'energia trasmessa dal generatore al carico è positiva, il circuito ha una componente resistiva, in quanto in essa l'energia viene dissipata sotto forma di calore, e non può quindi essere restituita alla sorgente.

2) Se detta energia ammonta a zero, ciò significa che il circuito contiene elementi reattivi puri nei quali non viene dissipata alcuna potenza.

3) Se l'energia viene trasmessa dal carico al generatore, il circuito contiene un suo proprio generatore, il quale eroga una potenza superiore a quella disponibile ai capi della sorgente, per cui questa ne assorbe.

La **figura 12** illustra quanto detto sopra mediante i grafici separati della tensione, della corrente e della potenza per i tre tipi di circuiti a c.a., ossia capacitivo, induttivo e resistivo. In **A** ed in **B** l'area sottostante alle anse positive è eguale a quella sottostante alle anse negative. Il condensatore presente nello schema della sezione A si carica durante il primo quarto di periodo e si scarica nel generatore nel quarto successivo; ciò si ripete durante ogni semiperiodo della tensione erogata dal generatore. La sezione B illustra la medesima azione per una induttanza pura, mentre la sezione **C** dimostra che, nel caso della resistenza pura, le anse della potenza sono sempre positive, ossia la resistenza assorbe l'energia completamente, senza mai restituirne al generatore.

Il comportamento dei componenti reattivi nel circuito di cui sopra non deve sorprendere in quanto — come abbiamo fatto rilevare precedentemente — sia la capacità che l'induttanza sono in grado di immagazzinare energia senza perdite. Ad esempio, l'energia impiegata per caricare un condensatore può essere interamente ricuperata facendo in modo che esso si scarichi attraverso una resistenza; l'energia elettrostatica di un condensatore viene così convertita in energia calorifica. Così, l'energia spesa per sviluppare un campo magnetico intorno ad una bobina può essere a sua volta ricuperata permettendo alla corrente indotta nella stessa, al successivo collasso di detto campo magnetico, di scaricarsi attraverso una resistenza. La **figura 13** illustra come si può ottenere la scarica di un elemento reattivo. In **A** il condensatore *C* è inizialmente carico; allorchè l'interruttore viene chiuso, si scarica attraverso la resistenza *R*. In **B**, la corrente iniziale che scorre in *L* vi accumula dell'energia creando intorno ad essa un campo magnetico; non appena l'interruttore viene chiuso, l'energia accumulata nel campo induce una tensione nell'induttanza e, di conseguenza, provoca una corrente attraverso *L* la quale si dissipa in *R* sotto forma di calore.

La resistenza limitatrice *Ro* è inserita nel circuito allo scopo di evitare che la batteria venga cortocircuitata quando l'interruttore è chiuso.

Potenza media

Dalle analisi fatte fino ad ora sulla potenza istantanea, si può dedurre che, in ogni circuito a c.a. contenente elementi reattivi, l'unica potenza effettivamente dissipata è quella assorbita dalla resistenza del circuito. Un circuito reattivo tuttavia, *sembra* consumare una grande quantità di potenza, come si può immaginare dalla superficie delle anse positive della figura 12. È quindi importante osservare che, sebbene il generatore riceva in restituzione una parte di energia *dal* carico, esso deve, tuttavia, fornirgliene in grande quantità. Questa potenza che il generatore deve fornire (indipendentemente dalla restituzione) *è detta potenza apparente*; come in ogni circuito a c.a. è data dal prodotto dei valori efficaci di tensione e di corrente. Si ha quindi:

$$P \text{ (potenza apparente)} = EI$$

oppure, sostituendo $\frac{E_{max}}{\sqrt{2}}$ ad E, ed $\frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$ ad I, si ha

$$P \text{ (potenza apparente)} = \frac{E_{max}\, I_{max}}{2}$$

La potenza apparente si distingue dalla potenza effettiva consumata dal carico, che prende nome di *potenza media* o « reale » e corrisponde alla energia assorbita dalla resistenza del circuito. Essa viene inoltre definita come la potenza assorbita da un circuito in un ciclo della tensione di alimentazione. Un esame del grafico della potenza rivela che tale concetto può essere espresso mediante la formula:

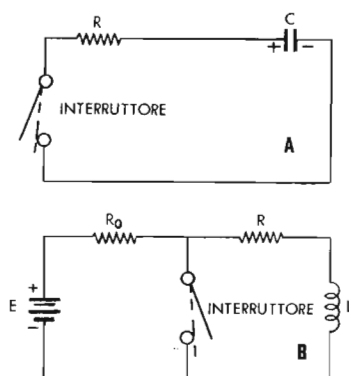



Fig. 13 — Gli elementi reattivi (C ed L) accumulano energia che restituiscono ad R.

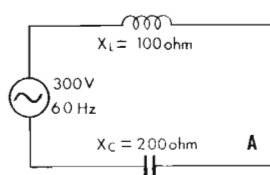



Fig. 14A — In questo circuito (con X_C ed X_L) la potenza apparente risulta di 900 watt e quella media di 0 watt. I 900 watt del generatore sono perciò integralmente resi.

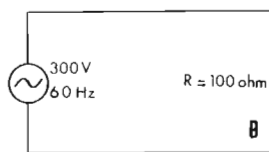



Fig. 14B — In questo circuito (sola R) la potenza apparente è di 900 watt e quella media è pure di 900 watt. La potenza del generatore è integralmente assorbita.

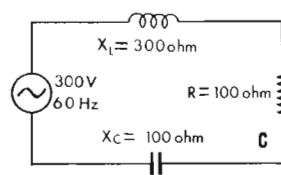



Fig. 14C — In questo circuito (con X_C, X_L ed R) la potenza apparente è di 401 watt e quella media di 179 watt. Gli elementi reattivi restituiscono pertanto 222 watt.

$$P \text{ (potenza media)} = \frac{\text{(area anse posit.)} - \text{(area anse negat.)}}{\text{lunghezza di un ciclo in radianti}}$$

Tuttavia, la differenza tra dette aree corrisponde alla differenza tra la potenza fornita al carico e la potenza da questo restituita, ossia alla potenza assorbita dalla resistenza del circuito. Questo è il motivo per il quale la legge di Joule esprime la potenza effettiva consumata in qualsiasi circuito, sia a c.c. che a c.a.

Così, come abbiamo detto, P (potenza media) = I^2R.

In un circuito reattivo però la corrente presente nel circuito equivalente a $E:Z$, per cui:

$$P = \frac{E}{Z} \times I \times R$$ e, trascrivendo in altro modo:

$$P = EI \times \frac{R}{Z}$$

Il rapporto $R:Z$ è, come risulta dall'analisi dei circuiti L-C-R, il coseno dell'angolo di fase θ, ossia dell'angolo presente tra la corrente e la tensione. Pertanto, la potenza media è data dal prodotto tra EI ed il coseno di θ, ossia:

$P = EI \cos\theta$, nella quale E = valore efficace della tensione, I = valore efficace della corrente, θ = angolo di fase tra tensione e corrente, e P = potenza media assorbita.

Le seguenti, sono le varie formule derivate per la potenza *apparente*:

$$P = EI; \quad P = I^2Z; \quad P = E^2:Z$$

mentre quelle relative alla potenza *media* sono:

$$P = EI \cos\theta; \quad P = I^2R$$

Un accurato esame della formula relativa alla potenza media, rivela che se l'angolo di fase θ è di 90°, il suo coseno è zero e la potenza effettivamente assorbita è zero. Perciò, un angolo di fase di 90° significa che il circuito è esclusivamente reattivo e restituisce tanta potenza quanta ne riceve. Se detto angolo è di 0°, il coseno è 1, ed il circuito è quindi esclusivamente resistivo, in quanto assorbe tutta la potenza fornita dal generatore.

Il fattore $\cos\theta$ varia quindi da zero a 1 mentre l'angolo di fase varia da 90° a 0°. Negli esempi che seguono, l'influenza dell'angolo di fase sulla potenza è illustrata dai tre circuiti della **figura 14**, a ciascuno dei quali è applicata una tensione alternata di 300 volt, 60 Hertz.

1) Il circuito della sezione **A** comprende una reattanza induttiva di 100 ohm ed una reattanza capacitiva di 200 ohm. Dal momento che tali reattanze sono opposte, la reattanza effettiva risultante ammonta a 100 ohm ed è capacitiva, e la corrente che scorre nel circuito è di 3 ampère. La potenza apparente è pari a:

$$P = EI = 300 \times 3 = 900 \text{ watt}$$

L'angolo di fase di questo circuito capacitivo è di 90°, e la corrente è in anticipo rispetto alla tensione. La potenza media è:

$$P = EI \cos\theta = 300 \times 3 \times \cos 90° = 900 \times 0 = 0 \text{ watt}$$

Ne consegue che non si ha dissipazione di potenza nel circuito, pur dovendo il generatore fornire 900 watt che però vengono integralmente resi.

2) Il circuito della sezione **B** comprende una resistenza pura di 100 ohm, collegata ai capi del generatore. La corrente è ancora di 3 A., e, dal momento che la tensione e la corrente sono in fase, l'angolo di fase è 0°. La potenza apparente è:

$$P = EI = 300 \times 3 = 900 \text{ watt}$$

mentre la potenza media è:

$$P = EI \cos\theta = 300 \times 3 \times \cos 0° = 900 \times 1 = 900 \text{ watt}$$

Quindi, in questo caso la potenza apparente e quella effettiva sono eguali.

3) Il circuito della sezione **C** è costituito da una reattanza induttiva di 300 ohm, da una reattanza capacitiva di 100 ohm, e da una resistenza pura di 100 ohm. L'impedenza è data da:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{(100)^2 + (200)^2} = \sqrt{50.000} = 224 \text{ ohm}$$

La corrente che scorre nel circuito è:

$$I = E:Z = 300:224 = 1{,}34 \text{ ampère}$$

L'angolo di fase di questo circuito eminentemente induttivo può essere determinato mediante il suo coseno, ossia:

$$\cos\theta = A:Z = 100:224 = 0{,}446$$

dalle tabelle ricaviamo che: $\theta = 63{,}4°$

La potenza media dissipata dal circuito è pari a:

$$P = EI \cos\theta = 300 \times 1{,}34 \times 0{,}446 = 179 \text{ watt}$$

La potenza apparente è: $P = EI = 300 \times 1{,}34 = 401$ watt

Il circuito consuma 179 watt, ma il generatore deve essere in grado di fornirne 401, di cui 222 vengono restituiti ad opera degli elementi reattivi.

CIRCUITI RISONANTI e FILTRI

Nell'etere coesistono onde radio provenienti dalle varie stazioni trasmittenti; con un apparecchio radio, noi sappiamo che possiamo scegliere la stazione che desideriamo ricevere sintonizzando il ricevitore sulla relativa frequenza. Ciò premesso, sappiamo anche che l'attitudine da parte di un apparecchio ricevente a selezionare, tra le tante, una sola stazione ignorando tutte le altre presenti contemporaneamente all'antenna, si chiama « selettività », la quale può essere ottenuta — abbiamo già visto — mediante l'impiego di uno o più circuiti sintonizzati, costituiti cioè da valori adatti di induttanza e di capacità (*LC*).

Ricordiamo che — così come abbiamo testè visto alla lezione precedente — un circuito sintonizzato « risuona » ad una data frequenza, quando le reciproche reattanze, induttiva e capacitiva, sono numericamente eguali nei confronti di quella frequenza.

Ci è noto anche, oramai, che la corrente che percorre una induttanza è in ritardo di 90° rispetto alla tensione che la determina, mentre in una capacità essa è in anticipo di 90°; le due reattanze provocano perciò uno sfasamento reciproco di 180°, e possono essere quindi rappresentate in direzioni opposte su un diagramma vettoriale.

Se esse si trovano nel medesimo circuito, si sottraggono a vicenda, per cui la differenza tra i due valori è la reattanza effettiva del circuito.

CIRCUITO RISONANTE in SERIE

Consideriamo il circuito in serie della **figura 1-A.** Alla frequenza del generatore, la reattanza induttiva X_L sia di 70 ohm, e quella capacitiva X_C di 25 ohm. Nella sezione **B** della figura è rappresentato il diagramma vettoriale delle reattanze, e, dal momento che come abbiamo detto, X_C è sfasata di 180° rispetto ad X_L, la prima può essere sottratta dalla seconda. Perciò, come si vede nella sezione **C** della figura, l'impedenza netta del circuito nei confronti del generatore ammonta al valore di una resistenza pura, in serie ad una reattanza induttiva pura di 45 ohm.

Supponiamo ora che la frequenza della tensione alternata prodotta dal generatore diminuisca: la reattanza del condensatore aumenta, e quella dell'induttanza diminuisce. Se in questo caso X_C è maggiore di X_L, il carico applicato al generatore si comporta come se fosse una resistenza in serie ad una capacità.

Supponiamo invece che la frequenza sia tale che la reattanza induttiva e quella capacitiva siano numericamente eguali. In questo caso sappiamo ciò che avviene: la loro differenza è zero, la reattanza netta è zero, e di conseguenza l'unica opposizione al passaggio della corrente nel circuito è dovuta alla resistenza.

Quando ciò si verifica — ricordiamo — il circuito viene detto risonante; se esso non comprende alcuna resistenza, e quella interna della sorgente di energia è pari a zero, la corrente che scorre tende ad assumere un valore infinito.

Qualsiasi circuito però contiene una certa resistenza ohmica, e ne consegue che la corrente non raggiunge mai il valore teorico infinito. Si noti, che esiste una sola frequenza rispetto alla quale le due reattanze sono numericamente eguali: in altre parole, mantenendo costanti i valori di *L* e di *C*, il circuito può risuonare su una sola frequenza.

Se la frequenza è più alta, il circuito sintonizzato in serie si comporta come un circuito esclusivamente induttivo, mentre se è più bassa, esso si comporta come se fosse esclusivamente capacitivo.

Se rappresentiamo graficamente il valore della corrente che scorre in un circuito risonante in serie, man mano che la frequenza viene aumentata da un valore basso ad un valore alto — tra i quali sia compreso quello di risonanza — otteniamo la curva illustrata nella **figura 2-A.** In essa, detta frequenza di risonanza, f_o, per la quale le reattanze sono eguali, è di 1.000 kHz. La corrente è massima nel punto corrispondente, mentre diminuisce rapidamente per frequenze inferiori e superiori.

Dal momento che la corrente di un circuito viene notevolmente influenzata dalla impedenza, quella di un circuito risonante in serie raggiunge il suo valore minimo alla frequenza di risonanza. La curva della variazione di impedenza di un circuito del tipo da noi considerato, nei confronti della frequenza stessa, è illustrata nella sezione **B** della figura.

Come sappiamo, la reattanza induttiva di una bobina è data da $X_L = 2\pi f_o L$, mentre la reattanza capacitiva di un condensatore è data da $X_C = 1 : 2\pi f_o C$.

Poichè alla frequenza di risonanza, f_o, i due valori sono eguali, si ha: $X_L = X_C$, ossia: $2\pi f_o L = 1 : 2\pi f_o C$, dalla quale, risolvendo rispetto a f_o, si ha che:

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

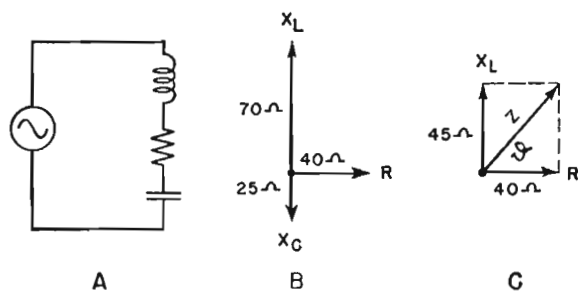



Fig. 1 — Nel circuito risonante in serie (figura A) alla maggiore reattanza induttiva (X_L) può essere sottratta la reattanza capacitiva (X_C) dato lo sfasamento di 180° (figura B). L'impedenza netta risulta essere (figura C) una resistenza pura in serie alla reattanza induttiva pura, residua.

Fig. 2 — Andamento della corrente (in A) in un circuito risonante in serie, e dell'impedenza (in B) nello stesso circuito. 1.000 kHz è la frequenza di esatta risonanza.

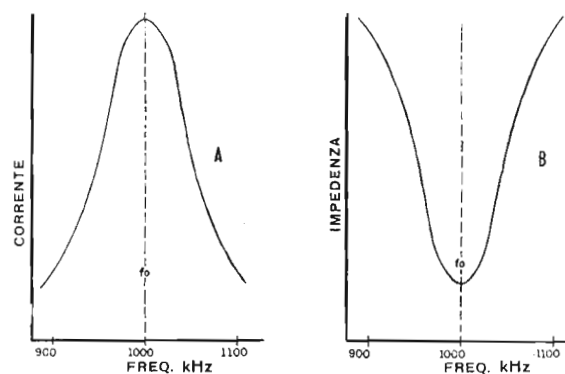
Questa equazione, che permette di ricavare il valore della frequenza di risonanza di un circuito sintonizzato, è molto importante nello studio dell'elettronica. Essa è necessaria per la progettazione dei filtri, dei circuiti « trappola », degli oscillatori, nonchè di molti altri dispositivi.

In tale equazione, si può notare che la frequenza di risonanza di un circuito può essere variata, variando sia l'induttanza che la capacità. Sappiamo che nella maggior parte dei ricevitori, la sintonia viene ottenuta agendo opportunamente sulla capacità di un condensatore variabile comandato a mezzo di una manopola demoltiplicata; ma abbiamo a suo tempo accennato all'esistenza di alcuni tipi di ricevitori nei quali si varia il valore della induttanza.

Man mano che uno dei due valori si allontana da quello necessario per la risonanza — sia in più che in meno — la corrente che circola in un circuito in serie diminuisce rapidamente. Tuttavia, per ogni valore raggiunto — sia di L che di C — è sempre possibile determinare la frequenza alla quale tale combinazione può nuovamente risuonare. Se si varia la capacità del circuito illustrato nella figura 1 in modo tale che la frequenza di risonanza sia f_o=1.100 kHz, si constata che la corrente massima viene ottenuta a tale frequenza. In qualsiasi circuito risonante nel quale la frequenza sia fissa, esiste un numero infinito di combinazioni dei valori di L e di C per le quali la risonanza stessa viene raggiunta; l'unica condizione indispensabile è che il prodotto di L e di C rimanga costante, ossia se si aumenta uno dei due, è necessario diminuire l'altro in conformità.

La curva inferiore della **figura 3** illustra il comportamento della reattanza capacitiva di un condensatore nei confronti di una frequenza variabile. Non è difficile notare che il valore di reattanza è massimo alle frequenze più basse, e viceversa, con una variazione esponenziale tra i due estremi.

La linea retta superiore illustra invece la variazione corrispondente della reattanza induttiva. La frequenza di risonanza si manifesta allorchè X_L è eguale ad X_C.

In un circuito risonante in serie, la reattanza è eminentemente capacitiva nei confronti delle frequenze inferiori a quella di risonanza, mentre nei confronti di quelle superiori alla frequenza di risonanza la reattanza è essenzialmente induttiva.

Un'altra caratteristica importante dei circuiti sintonizzati consiste nel fatto che, in effetti, essi amplificano la tensione del segnale scelto. Ad esempio, la tensione applicata ad un circuito sintonizzato può essere relativamente bassa, ma, se si verifica il fenomeno della risonanza, tale bassa tensione è sufficiente per provocare la presenza di notevoli correnti. Dal momento che la caduta di tensione presente ai capi di ogni componente è sempre proporzionale alla corrente che lo percorre, la tensione ai suoi capi raggiunge il suo valore massimo alla risonanza. Se la resistenza del circuito è molto bassa, la corrente è considerevole, e un'alta corrente produce un'ampia caduta di tensione $I\ X$ ai capi di L e di C.

Le due cadute di tensione sono di eguale ampiezza alla frequenza di risonanza, e di polarità opposta. Dato che sono di polarità opposta si elidono a vicenda nei confronti del generatore. Di conseguenza anche se l'energia disponibile è trascurabile, la caduta di $I\ X$ ai capi di L e di C può essere molto alta. Ognuna delle due cadute $I\ X$ può essere utilizzata per azionare altri circuiti radio in quanto, alla frequenza di risonanza è possibile sviluppare segnali di ampiezza apprezzabile.

Concludendo, le proprietà di un circuito risonante in serie in condizioni di risonanza, possono essere riassunte come segue:

1) La corrente è massima,

2) L'impedenza è minima,

3) Le tensioni ai capi di L e di C sono massime.

Questi tipi di circuiti risonanti vengono spesso usati in relazione all'antenna, sia nei trasmettitori che nei ricevitori; sono particolarmente adatti nel caso dei trasmettitori grazie al fatto che la corrente che scorre è massima soltanto per il valore di frequenza desiderato, per cui si ottiene la massima irradiazione solo per quella frequenza.

Essi possono inoltre essere impiegati come circuiti « trappola » e come filtri; di questi circuiti ci occuperemo quanto prima.

Selettività

Abbiamo visto che la resistenza di un circuito sintonizzato risonante in serie determina la corrente che lo percorre. La **figura 4** illustra l'andamento della corrente presente in tre circuiti di questo tipo, aventi i medesimi

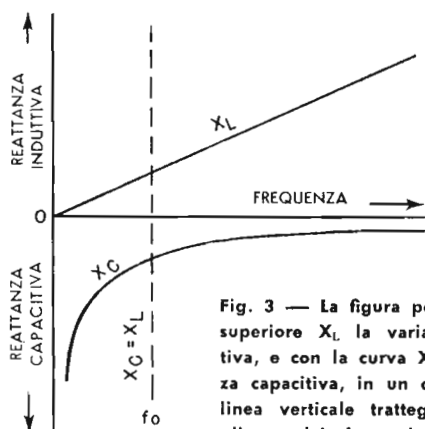



Fig. 3 — La figura pone in evidenza, con la retta superiore X_L la variazione della reattanza induttiva, e con la curva X_C la variazione della reattanza capacitiva, in un circuito risonante in serie. La linea verticale tratteggiata indica punti di egualianza dei due valori, vale a dire la risonanza.

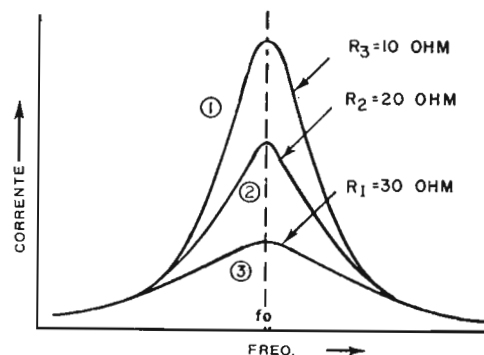



Fig. 4 — La resistenza di un circuito sintonizzato in serie ne determina la selettività: a minore valore resistivo corrisponde maggiore selettività.

valori di L e di C, ma presentanti differenti valori di resistenza. Il circuito avente la resistenza minore lascia passare la corrente massima. Si noti anche che esso ha la curva più appuntita. Perciò questo circuito offre la più alta selettività, vale a dire che respinge, se così si può dire, assai più di un circuito a curva larga, tutte le frequenze, ai lati della frequenza di risonanza.

La selettività di un circuito risonante viene definita come il rapporto tra la intensità della corrente alla frequenza di risonanza e quella della corrente che scorre ad una data altra frequenza. Pertanto, un circuito molto selettivo permette il passaggio di una notevole corrente quando risuona, e di correnti molto deboli a frequenze vicine alla risonanza. Viceversa, un circuito poco selettivo viene percorso da correnti pressochè eguali, sia alla frequenza di risonanza, che alle frequenze laterali a quest'ultima.

La resistenza del circuito ne determina quindi la selettività. Quest'ultima deve necessariamente essere alta nella maggior parte dei circuiti.

Ad esempio, all'ingresso di un apparecchio radio ricevente sono disponibili le frequenze dei segnali provenienti da centinaia di emittenti, alcune delle quali hanno valori di frequenza molto prossimi tra loro. In questo caso solo un circuito risonante ad alta selettività può selezionarne una sola respingendo tutte le altre. Vi è una eccezione, che vedremo assai meglio dopo aver analizzato a fondo il fenomeno della modulazione dei segnali, ed alla quale facciamo qui solo un breve cenno: è il caso della ricezione delle emittenti a modulazione di frequenza. La eccessiva selettività si rivela in questa tecnica in un certo senso dannosa al buon funzionamento, ed è allora necessario aggiungere al circuito risonante una resistenza il cui compito è appunto di allargare la banda delle frequenze sulle quali il circuito può funzionare.

CIRCUITO RISONANTE in PARALLELO

Quando una induttanza ed un condensatore sono collegati in parallelo, l'assieme viene detto circuito risonante sintonizzato in parallelo. Come nel caso del circuito in serie, si ha la risonanza allorchè la reattanza induttiva è eguale a quella capacitiva. Ciononostante, nel circuito risonante in parallelo si hanno delle caratteristiche totalmente differenti da quelle del circuito risonante in serie.

Come abbiamo visto, nel circuito *in serie*, in condizioni di risonanza le cadute di tensione ai capi di L e di C sono eguali e di segno contrario, e la corrente che circola nel circuito assume il valore massimo. La tensione applicata può essere piccola, ma tensioni assai alte possono verificarsi ai capi dell'induttanza e della capacità. In un circuito risonante *in parallelo* invece, la tensione presente ai capi di ognuno dei rami è la medesima, e la corrente si divide tra i due. Le correnti dei rami risultano sfasate rispetto alle relative tensioni, quando i rami offrono reattanze: per cui, ognuno di essi può essere percorso da una corrente di intensità maggiore di quella di linea in quanto la somma vettoriale di due forti correnti può essere una corrente debole.

Consideriamo il circuito in parallelo della **figura 5-A.** La corrente che percorre il ramo capacitivo (16 ampère) è in anticipo di 90° rispetto alla tensione applicata E, mentre la corrente presente nel ramo induttivo (13 ampère) è in ritardo di 90° rispetto alla medesima tensione. La corrente che passa attraverso la resistenza (4 ampère) è in fase con la tensione E. Tutte queste correnti sono rappresentate vettorialmente nella sezione **B** della figura. Dal momento che le correnti sono in fase opposta, la minore viene sottratta dalla maggiore. Nel nostro caso, la differenza tra I_C ed I_L lascia come corrente residua una corrente capacitiva netta di 3 ampère; questa corrente si combina con quella resistiva di 4 ampère per costituire la corrente di linea, I_T, per cui si ha:

$$I_T = \sqrt{I_{R_2} + I_{C_2}} \quad \text{ossia} \quad I_T = \sqrt{4^2 + 3^2} = \sqrt{25} = 5 \text{ ampère}$$

La risonanza si verifica quando I_C è eguale ad I_L. In tale caso le correnti reattive si elidono a vicenda riducendo la corrente totale a soli 4 ampère che è la corrente resistiva. Se la resistenza è di valore infinito — ossia se non esiste praticamente un ramo resistivo — la corrente totale (I_T), si approssima a zero.

È importante notare che nel circuito risonante in parallelo, *la corrente* in condizioni di risonanza *è un minimo.* Ciò è esattamente in contrario di quanto accade nel circuito risonante in serie nel quale, a risonanza, la corrente è *ad un massimo.* Nel circuito in parallelo, man mano che la frequenza si approssima al valore di risonanza, il valore X_L si approssima a quello di X_C; le cor-

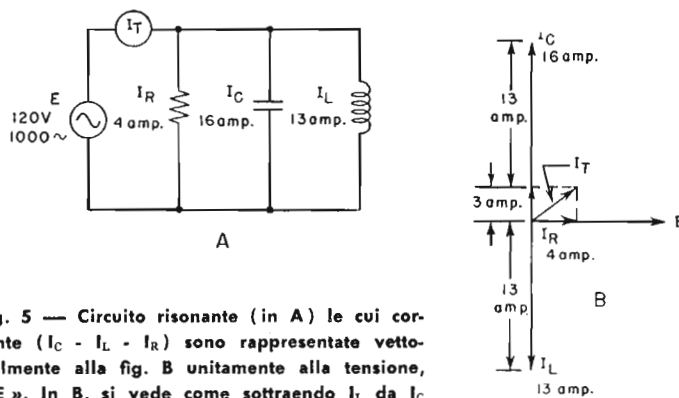



Fig. 5 — Circuito risonante (in A) le cui corrente (I_C - I_L - I_R) sono rappresentate vettorialmente alla fig. B unitamente alla tensione, « E ». In B, si vede come sottraendo I_L da I_C in quanto in fase opposta, rimangano 3 ampère di I_C che con I_R danno la corrente totale, I_T.

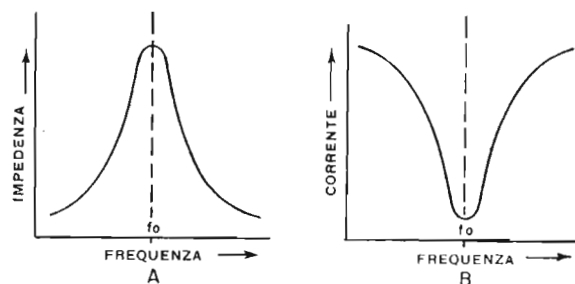



Fig. 6 — Andamento dell'impedenza (in A) in un circuito risonante in parallelo, e della corrente (in B) nello stesso circuito per la frequenza di risonanza. Si noti l'andamento del tutto contrario rispetto a quello del circuito in serie, riportato alla figura 2.

renti reattive si elidono sempre più, col risultato che la corrente di linea continua a diminuire, finchè — raggiunta la frequenza di risonasza — le correnti reattive si annullano completamente e rimane soltanto quella resistiva, come abbiamo visto sopra.

Se fosse possibile collegare in parallelo una capacità ed una induttanza pura, e se tale circuito (senza resistenza) fosse sintonizzato sulla sua frequenza di risonanza, si avrebbe una corrente di linea pari a zero, pur essendo notevoli le correnti in ogni ramo singolo. Così, il circuito risonante in parallelo si comporta, a risonanza, nei confronti della sorgente di energia, come un carico ad alta impedenza. In altre parole, alla frequenza di risonanza la corrente di linea è minima e l'impedenza è massima.

La **figura 6** illustra le variazioni di impedenza e di corrente col variare della frequenza; è opportuno confrontare queste curve con quelle della figura 2 relative al circuito risonante in serie.

Le curve di figura 6 mostrano che, se la frequenza proveniente dal generatore non corrisponde a quella di risonanza, la corrente di linea aumenta, vale a dire, l'impedenza dell'intero circuito diminuisce. In **figura 7-A** è rappresentato un circuito risonante in parallelo ideale in quanto privo di resistenza; nelle sezioni **B**, **C**, e **D** è rappresentato il comportamento a tre diverse frequenze, rispettivamente al di sotto, in corrispondenza, ed al di sopra della frequenza di risonanza.

Nel primo caso, la reattanza capacitiva aumenta e la reattanza induttiva diminuisce; di conseguenza si ha un flusso di corrente maggiore nel ramo induttivo. Tale ampia corrente induttiva annulla la debole corrente capacitiva lasciando una corrente netta in ritardo rispetto alla tensione. Ne consegue che, per frequenze inferiori a quella di risonanza, l'intero carico si comporta nei confronti del generatore come se fosse soltanto induttivo.

Nel secondo caso (frequenza superiore alla risonanza) X_L aumenta mentre X_C diminuisce, per cui la corrente maggiore scorre nel condensatore. La corrente è quindi in anticipo rispetto alla tensione, ossia il carico si comporta come se fosse esclusivamente capacitivo.

La maggior differenza tra il circuito risonante in serie e quello risonante in parallelo consiste nel comportamento del carico nei confronti della sorgente di energia per frequenze diverse da quella di risonanza. Nel secondo tipo la corrente è il fattore determinante. Per esempio, al di sopra della risonanza, X_L aumenta mentre X_C diminuisce, per cui si ha una corrente maggiore nel ramo capacitivo. Tale corrente I_C, elide la debole corrente induttiva, I_L, e la reattanza netta risulta al carico eminentemente *capacitiva*. Nel circuito risonante in serie invece, per frequenze superiori a quella di risonanza, le correnti presenti di L ed in C sono eguali. Tuttavia, dal momento che X_L aumenta mentre X_C diminuisce, la caduta di tensione presente ai capi della bobina è maggiore di quella presente ai capi del condensatore; essendo entrambe reciprocamente sfasate di 180°, si sottraggono, lasciando una caduta di tensione netta ai capi di L, quindi, nei confronti del generatore, il carico è eminentemente *induttivo*.

La sintonia del circuito in parallelo viene generalmente ottenuta variando il valore di capacità. Le condizioni di risonanza vengono denunciate dal fatto che un amperometro eventualmente collegato in serie alla linea dà la minima indicazione; ciò significa che la maggior parte della corrente scorre nel circuito sintonizzato in parallelo.

Dal momento che qualsiasi circuito ha una propria resistenza, la corrente di linea non può mai raggiungere il valore zero. Tale resistenza è dovuta quasi interamente alla resistenza del conduttore che costituisce la bobina. La resistenza del ramo induttivo, come si nota osservando la **figura 8-A**, compromette il bilanciamento tra I_C ed I_L.

In questa figura si nota appunto che il ramo induttivo ha una sua resistenza, che viene raffigurata in serie alla bobina (mentre in realtà ne fa parte integrale). La corrente che percorre il ramo induttivo non è mai sfasata, per tale motivo, esattamente di 180° rispetto a quella del ramo capacitivo (vedi sezione **B**), e questo è anche il motivo per il quale la corrente di linea non può mai essere pari a zero.

Maggiore è la resistenza nel circuito, minore è l'effetto di elisione, ossia di reciproco annullamento, tra le correnti dei due rami, e maggiore è la corrente di linea presente alla frequenza di risonanza. Per meglio chiarire ciò, la **figura 9** illustra la curva della corrente in tre circuiti eguali, aventi cioè i medesimi valori di induttanza e di capacità, ma differenti valori di resistenza: è evidente che, con l'aumentare della resistenza, la curva si allarga e si appiattisce.

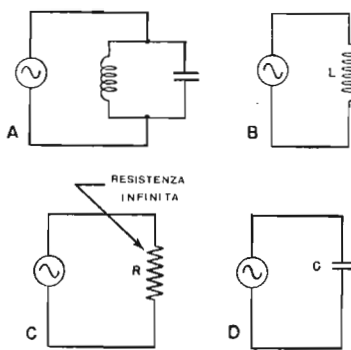



Fig. 7 — Circuito in parallelo (in A) e risultante (in B) per frequenze sotto, pari (in C) e sopra (in D) alla risonanza.

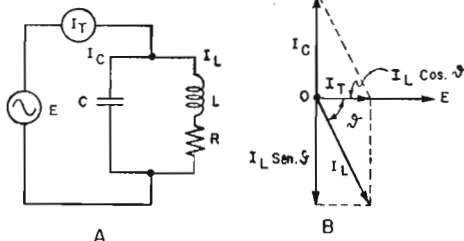



Fig. 8 — Nel circuito (figura A) vi è sempre una certa resistenza, R, dovuta al conduttore che forma « L ». Detta resistenza impedisce uno sfasamento di 180° esatti (vedi B) e di conseguenza la corrente di linea non può scendere a zero.

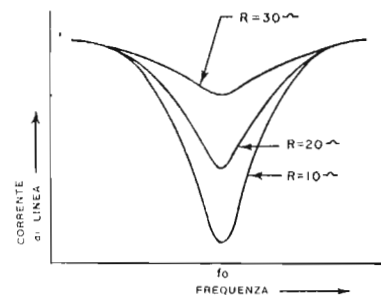



Fig. 9 — Aumentando la resistenza nel circuito, la corrente induttiva e quella capacitiva si elidono sempre meno, la corrente di linea aumenta e la curva di risonanza si appiattisce.

L'impedenza di un circuito risonante in parallelo è massima alla frequenza di risonanza, e diminuisce per tutte le altre frequenze inferiori e superiori. Come sappiamo, si ha il massimo trasferimento di energia da un generatore ad un carico allorchè le reciproche resistenze interne, o impedenze, sono eguali: come vedremo in seguito, di solito negli apparecchi radio a « valvola», le valvole stesse si presentano come dispositivi ad alta resistenza interna, per cui è conveniente usare con esse circuiti risonanti in parallelo come circuiti di entrata e di uscita.

I circuiti risonanti in parallelo sono utilizzati anche come filtri, come circuiti « trappola », nonchè come circuiti oscillanti di accoppiamento e circuiti « volano »; la loro selettività viene definita esattamente come per i tipi in serie. Infatti, un circuito risonante ad alta selettività ha una curva appuntita, sia della corrente sia della impedenza, in funzione della frequenza.

Principio del circuito « volano »

Il circuito risonante in parallelo viene spesso chiamato circuito « volano » o circuito « serbatoio ». Se il condensatore viene caricato mediante una batteria (corrente continua) e dopo, la batteria viene staccata, si ha la produzione di una corrente alternata di breve durata con frequenza pari a quella di risonanza del circuito. Questa c.a. si riduce progressivamente in ampiezza fino a cessare del tutto, come abbiamo visto a suo tempo. Riassumendo, l'energia viene in un primo tempo immagazzinata nella capacità, e quindi trasferita alla bobina, ossia trasformata in un campo magnetico circostante la stessa. La corrente diventa alternata in quanto inverte la sua direzione alla frequenza di risonanza del circuito sintonizzato. I cicli successivi si ripeterebbero all'infinito se il circuito non avesse una certa resistenza, la quale, essendo inevitabilmente presente, dissipa una certa quantità di energia durante ogni ciclo, facendo diminuire perciò l'ampiezza, ma — si noti — lasciando inalterata la frequenza.

Per produrre una corrente alternata persistente in un circuito oscillante in parallelo, basta supplire alle perdite dovute a detta resistenza. A volte, è sufficiente una potenza minima per mantenere in oscillazione una corrente considerevole in un circuito risonante.

La corrente alternata che si genera nel modo che abbiamo accennato viene denominata **corrente oscillatoria.** I circuiti oscillanti che la producono vengono detti « circuiti serbatoio » (« tank circuit » in inglese), per il fatto che essi sono in grado di immagazzinare l'energia atta ad oscillare, oppure circuiti « volano » per il loro effetto di inerzia.

RESISTENZA EFFETTIVA alla C.A.

Rivediamo ora gli effetti della resistenza in un circuito risonante. Sia nel tipo in serie che nel tipo in parallelo, essa riduce l'acutezza della curva di risonanza, ossia riduce la selettività del circuito.

Nel circuito in parallelo, la resistenza riduce l'impedenza totale, che è massima alla frequenza di risonanza, e come conseguenza la corrente di linea aumenta.

L'impedenza del circuito in serie, che è minima in condizioni di risonanza, viene aumentata dalla resistenza, con la conseguenza di una diminuzione della corrente di linea.

La resistenza aumenta quindi la potenza dispersa di qualsiasi circuito. Nei circuiti risonanti la maggior parte delle perdite si espleta nella bobina. Queste perdite sono dovute alla resistenza ohmica, all'isteresi, alle correnti di Focault, e ad altri effetti propri delle bobine.

La resistenza di ogni circuito può perciò essere definita in termini di potenza dissipata. Essa può essere consumata sotto forma di calore, di irradiazione, nonchè di accoppiamento magnetico con altri circuiti. Le perdite causate dalla resistenza ohmica avvengono con produzione di energia termica; sappiamo che il valore efficace di una corrente o tensione a c.a. è quel valore che, in una resistenza, produce una quantità di calore pari a quello prodotto dal corrispondente valore di corrente o tensione continua. Tuttavia, riferendoci alla corrente alternata nei circuiti reattivi, è possibile venga dissipata una certa potenza senza produzione di calore. Ad esempio, può essere dissipata potenza a causa dell'irradiazione. Un conduttore che sia sede di corrente alternata ad Alta Frequenza irradia energia sotto forma di radioonde. Tale filo presenta una sua resistenza di irradiazione che corrisponde al rapporto tra la potenza totale irradiata ed il quadrato della corrente. Le antenne sono quindi progettate in modo tale da presentare una note-

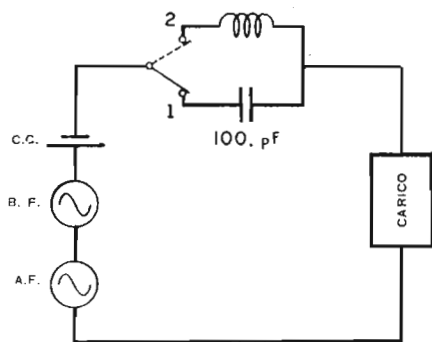



Fig. 10 — La tensione delle tre diverse sorgenti raggiunge o meno il carico a seconda che il commutatore sia su 1 o su 2, in relazione al tipo di f.e.m. (corr. continua, c.a. frequenza alta, frequenza bassa).

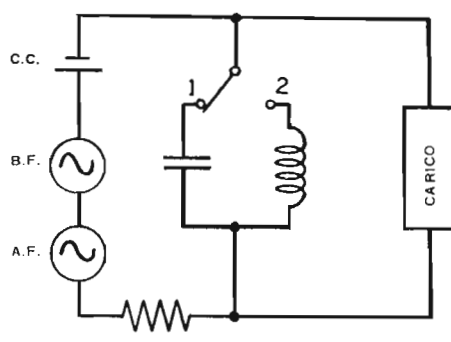



Fig. 11 — Ponendo il condensatore o l'induttanza in parallelo al carico anzichè in serie come nella figura precedente, le diverse f.e.m. si comportano in maniera opposta circa il raggiungimento o meno del carico.

vole resistenza di irradiazione, con la minima resistenza ohmica possibile, onde evitare che la potenza si dissipi in calore e non più in irradiazione, come necessario.

Un circuito percorso da c.a. può consumare energia in quantità molto maggiore che non un circuito percorso da corrente continua. Nei confronti della c.a. il termine « resistenza » si riferisce a tutti i fenomeni che dissipano energia in modo tale che essa non possa essere ricuperata a beneficio del circuito stesso.

La resistenza riferita rispetto al consumo di potenza a c.a. viene definita **resistenza effettiva alla corrente alternata.** Essa è maggiore della resistenza ohmica a causa delle correnti di Focault, dell'isteresi, dell'effetto pellicolare (quello cioè di cui si è detto alla lezione sulle induttanze e secondo il quale le correnti alternate ad A.F. tendono a percorrere soltanto la superficie esterna dei conduttori), nonchè di altri fenomeni. Le correnti parassite determinano perdite termiche in quanto sono correnti indotte in qualsiasi conduttore che si trovi all'interno del campo magnetico variabile del circuito. Esse sono in modo particolare causa di inconvenienti nei nuclei ferrosi dei trasformatori. L'isteresi aumenta le perdite di calore nei conduttori di materiali magnetici, nonchè in tutti i componenti circostanti costituiti da tali materiali. L'effetto pellicolare costituisce perdite di potenza nei circuiti a c.a. ad Alta Frequenza; la distribuzione non uniforme della corrente che attraversa un conduttore è più pronunciata in una bobina che non in un comune collegamento. Nei confronti delle frequenze elevate, la resistenza effettiva alla c.a. può essere da 10 a 100 volte quella effettiva alla corrente continua.

È della massima importanza evitare di confondere la resistenza alla c.a. di una bobina con la sua reattanza, ed è opportuno specificare che, in ogni considerazione relativa alle caratteristiche di un componente funzionante in c.a., *la resistenza denunciata si riferisce sempre al valore effettivo della stessa.*

FATTORE « Q » di una BOBINA

Dal momento che la resistenza di un circuito sintonizzato è essenzialmente nella bobina il rapporto tra la reattanza induttiva e la sua resistenza costituisce la misura dell'efficienza o « rendimento » di quella bobina. In proposito ci richiamiamo a quanto abbiamo già detto alla nostra lezione 29ª. Detto rapporto vale anche agli effetti dell'intero circuito per determinare la qualità. Esso è definito dalla lettera Q, ed espresso dalla formula:

$$Q = X_L : R$$

Il valore di Q viene a volte denominato, come già sappiamo, « fattore di merito della bobina ». La resistenza effettiva di una bobina è proporzionale alla frequenza in modo approssimato, mentre la reattanza induttiva lo è in maniera esatta. Per questo motivo il fattore Q resta pressochè costante per un'ampia gamma di frequenze, pur diminuendo leggermente con l'aumentare delle stesse. Mentre un circuito con un alto valore di Q ha una curva di risonanza appuntita, un circuito con un basso valore di Q ha invece una curva piuttosto piatta.

Il Q di un circuito risonante la cui bobina sia avvolta su di un nucleo di materiale ferroso varia da 10 a 100. Le cavità risonanti rivestite in argento ed usate nei circuiti per onde ultra-corte hanno un fattore Q che raggiunge il valore di 30.000.

Un altro metodo per definire il fattore di merito consiste nel dire che esso è un confronto tra la potenza totale presente in un circuito sintonizzato e la potenza dissipata dalla sua resistenza.

L'impedenza di un circuito risonante in parallelo alla frequenza di risonanza corrisponde a Q volte la reattanza o della bobina o del condensatore. Quindi:

$Z = QX_L = QX_C$ ($X_L = X_C$ in condizione di risonanza)

e, dal momento che: $Q = X_L : R$

eseguendo la sostituzione rispetto a Q, si ha che:

$$Z = \frac{X_L X_L}{R} = \frac{X_L^2}{R}$$

La corrente che circola in un circuito oscillante risonante in parallelo equivale a Q volte la corrente di linea:

$$I_{oscillatore} = QI_{linea}$$

FILTRI

Sappiamo, generalmente, che cosa siano i filtri meccanici: dispositivi che lasciano passare determinati ingredienti mentre ne respingono altri indesiderati. Del pari, in elettronica, i filtri selezionano l'energia di una fre-

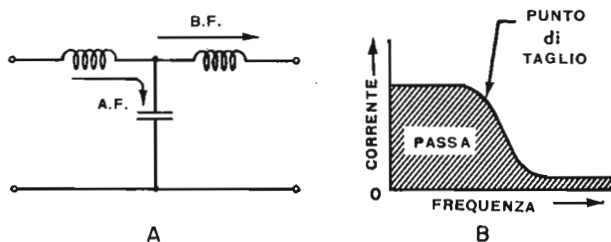



Fig. 12 — In A è riprodotto un filtro « passa basso ». Per comprenderne il funzionamento esso va considerato come un assieme di circuiti in serie e in parallelo. Le frequenze alte che superano la prima induttanza trovano più facile via tramite il condensatore: quelle basse invece incontrano minore ostacolo nell'induttanza: per questo, passano solo le frequenze basse, come illustrato in B.

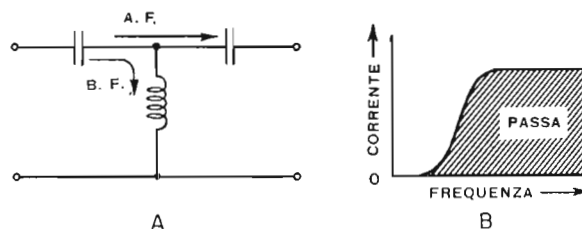



Fig. 13 — Si tratta di un filtro che compie funzioni inverse a quelle del filtro della figura a lato e che viene detto perciò « passa alto ». Come si vede, è invertita la posizione degli elementi (induttanza e capacità) per cui le frequenze alte preferiscono la via capacitiva mentre quelle basse, dopo il primo condensatore, si avviano tramite l'induttanza. Il risultato è illustrato in B.

quenza desiderata, o di una gamma di frequenze, e respingono quella delle frequenze indesiderate.

La reattanza di una bobina e di un condensatore varia col variare della frequenza; di conseguenza, mediante varie sistemazioni di bobine, condensatori e circuiti sintonizzanti, è possibile separare non soltanto la corrente continua (frequenza zero) da quella alternata, ma anche correnti alternate di differenti frequenze.

L'impiego di solo resistenze non permette di effettuare una azione di filtraggio in quanto viene opposta la medesima resistenza a tutte le correnti, indipendentemente dalla frequenza. Tuttavia, allorchè resistenza e capacità vengono combinate in un circuito di filtraggio, la resistenza regola la velocità di carica e di scarica della capacità ed influisce allora sulla discriminazione di frequenza del filtro così costituito.

Prima di parlare delle diverse classi dei filtri, è opportuno considerare gli effetti dei singoli condensatori e induttanze collegate in serie o in parallelo ad un carico. La **figura 10** illustra un circuito provvisto di tre sorgenti di forza elettromotrice, e precisamente una batteria che fornisce c.c., un alternatore che produce c.a. a frequenza bassa, ed un secondo alternatore che fornisce c.a. a frequenza alta.

Quando il commutatore è in posizione *1*, la capacità è inserita nel circuito. La c.c. è completamente eliminata in quanto il condensatore oppone un'impedenza infinita al suo passaggio. La c.a. a frequenza bassa viene notevolmente attenuata dalla piccola capacità dato che la sua reattanza è molto grande rispetto alle frequenze basse. Tuttavia, l'impedenza della capacità è molto lieve rispetto alle frequenze elevate (eventualmente, radiofrequenze), per cui la corrispondente corrente può scorrere liberamente nel circuito.

Quando invece, il commutatore è in posizione *2* la bobina risulta in serie al carico. La corrente continua viene attenuata molto poco. Egualmente — dal momento che X_L è direttamente proporzionale alla frequenza — la reattanza opposta alle frequenze basse è minima, mentre l'impedenza opposta alle frequenze alte è talmente elevata che, per la maggior parte non possono raggiungere il carico.

La **figura 11** illustra un circuito provvisto delle medesime sorgenti di energia presenti nel circuito precedente, con la differenza che il commutatore permette di inserire o la bobina, o il condensatore, in parallelo al carico invece che in serie. In posizione *1* il condensatore si trova in parallelo al carico, e, mentre la c.c. e quella alternata a bassa frequenza non passano attraverso l'alta reattanza capacitiva da esso offerta — per cui scorrono principalmente attraverso il carico — la corrente a frequenza alta può invece attraversare il condensatore.

L'effetto opposto si verifica quando, spostando il commutatore in posizione *2*, si connette la bobina in parallelo al carico. In questo caso le correnti ad alta frequenza scelgono la strada che offre loro la minore opposizione, passano cioè attraverso il carico in quanto il ramo induttivo presenta una reattanza che costituisce un notevole impedimento. La c.c. e quella alternata a frequenza bassa vengono invece sottratte al carico perchè passano attraverso la bobina che presenta per loro una bassa reattanza.

Filtri passa basso

La **figura 12-A** illustra un filtro di questo tipo. Esso, come è denunciato dal suo stesso nome, permette il passaggio delle sole frequenze basse tra quelle eventualmente facenti parte di correnti complesse formate da varie frequenze di vario valore.

Il funzionamento di questo filtro può essere illustrato considerando semplicemente il suo effetto come circuito d'assieme in serie e in parallelo. La sezione in serie è costituita da induttanze, e noi sappiamo che l'impedenza delle induttanze è proporzionale alla frequenza: pertanto, con l'aumentare di quest'ultima, l'impedenza stessa aumenta rendendo difficile il passaggio alle frequenze elevate. In altre parole, una induttanza in serie permette il libero passaggio delle correnti alternate a Bassa Frequenza, mentre offre una impedenza notevole alle correnti ad Alta Frequenza. D'altro canto, la sezione in parallelo del filtro (ossia il condensatore) offre una minima impedenza alle frequenze elevate, mentre si comporta pressochè come un circuito aperto nei confronti delle frequenze basse; perciò, la corrente si divide nel filtro come è illustrato nella figura. Le frequenze alte sono filtrate e solo quelle basse passono. I valori di induttanza e di capacità possono essere regolati in modo tale che le frequenze subiscano una minima attenuazione fino ad un certo valore (**frequenza di taglio**), ed una attenuazione massima oltre tale valore. Naturalmen-

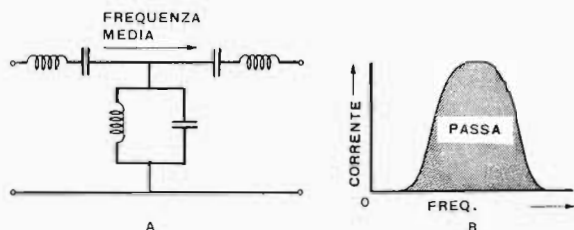



Fig. 14 — Filtro « passa banda ». La sezione in parallelo è un circuito risonante sulla gamma di frequenza che si vuole far passare: esso offre facile passaggio a tutte le altre frequenze e perciò le devia. Le sezioni in serie sono risonanti anch'esse sulla banda desiderata in uscita: pongono ostacolo a tutte le frequenze tranne che a quelle della banda passante. In B è riprodotto l'effetto del filtro.

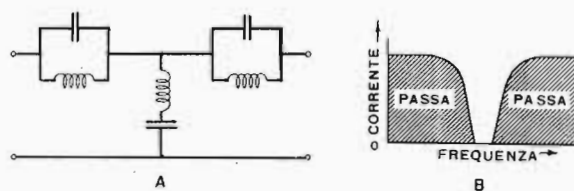



Fig. 15 — Filtro per « eliminazione di banda ». Invertendo la disposizione dei circuiti risonanti (serie-parallelo) adottati nel filtro di figura 14, si può ottenere l'effetto contrario, ossia l'eliminazione di una banda di frequenza ed il passaggio di tutte le altre, inferiori e superiori. La sezione B della figura mostra quanto si ottiene all'uscita del filtro. I limiti e la posizione della banda dipendono naturalmente dai valori adottati.

te, non esiste un limite intermedio ben determinato in quanto, come si è detto, la reattanza varia col variare della frequenza, per cui ogni filtro passa basso avrà una sua particolare curva di risposta come quella illustrata nella sezione **B** della figura.

Filtri passa alto

La **figura 13** mostra un esempio di tale filtro. Le capacità in serie offrono una impedenza bassa alle frequenze elevate, mentre a tali frequenze viene offerta una impedenza notevole da parte dell'induttanza collegata in parallelo. Ne consegue, che le correnti ad Alta Frequenza passano attraverso il filtro subendo soltanto una lieve attenuazione.

Le Basse Frequenze vengono attenuate notevolmente in quanto i componenti si comportano nei loro confronti in maniera opposta, ossia offrono un'alta reattanza capacitiva in serie ed una bassa reattanza induttiva in parallelo. Diversamente dal filtro precedente, mentre le frequenze basse vengono filtrate, le frequenze alte possono passare pressochè indisturbate. La sezione **B** della figura illustra la curva di risposta di questo tipo di filtro. I valori dei componenti possono essere regolati in modo tale da permettere l'attenuazione desiderata in maniera che sia massima alle frequenze da eliminare e minima a quelle necessarie.

Filtri passa banda

Un filtro passa banda come quello illustrato nella **figura 14-A**, ha il compito di permettere il passaggio di correnti le cui frequenze sono contenute entro una gamma continua limitata da un valore massimo e da un valore minimo (frequenze di taglio). In questo tipo di filtro la sezione « shunt » è un circuito risonante in parallelo, il quale risuona alle frequenze compresa nella gamma desiderata, cioè quella da far passare. Le sezioni in serie sono altrettanti circuiti risonanti in serie sulle medesime frequenze. In tal modo esse pongono un'alta impedenza a tutte le frequenze, tranne che a quelle della banda desiderata; la sezione in parallelo offre una bassa impedenza a tutte le frequenze al di qua e al di là della gamma scelta. Il risultato è che solo la banda di frequenza desiderata passa attraverso il filtro mentre tutte le altre frequenze sono deviate. Anche in questo caso i componenti possono essere regolati opportunamente. La sezione **B** della figura mostra la curva di risposta di un circuito di questo tipo.

Filtri di eliminazione di banda

Il compito di questo tipo di filtro consiste **1)** nella soppressione di tutte le frequenze comprese entro una determinata gamma, limitata dalle frequenze di taglio superiore ed inferiore e, **2)** nel permettere il passaggio a tutte le frequenze al di fuori di tale banda. La **figura 15-A** ne illustra un esempio; nella sezione **B** è visibile la caratteristica di frequenza. I circuiti risonanti in parallelo costituenti il ramo in serie offrono una impedenza elevata a tutte le frequenze indesiderate. La sezione di « shunt », costituita da un circuito risonante in serie, si comporta pressochè come un cortocircuito nei confronti di tali frequenze e impedisce quindi il passaggio attraverso il carico. Tutte le altre frequenze, superiori o inferiori alla banda da eliminare, trovano in tale filtro una minima impedenza attraverso i circuiti risonanti in parallelo, ed una notevole impedenza nella sezione in parallelo, per cui possono passare per raggiungere il carico.

Applicazioni generali dei filtri

I filtri comunemente intesi vengono usati nei circuiti di alimentazione derivati dalla rete c.a. Infatti, la tensione alternata viene in un primo tempo rettificata e quindi trasformata in c.c. pulsante, la quale scorre in un'unica direzione. Allo scopo di eliminare le pulsazioni e di livellare la corrente stessa, si usa un filtro passa basso la cui frequenza di taglio sia inferiore alla frequenza delle pulsazioni (generalmente 50 o 100 Hertz). La corrente continua pulsante di cui si è detto può essere considerata come composta di c.c. più una componente alternata; il filtro passa basso elimina la componente alternata permettendo il passaggio alla sola corrente continua.

I filtri passa banda vengono usati invece nei circuiti di sintonia dei ricevitori a stadi accordati, nonchè nei ricevitori « supereterodina ». Vedremo a suo tempo il loro pratico impiego.

È possibile usare i filtri, in serie tra loro, per ottenere un migliore filtraggio. Ad esempio, due filtri passa basso in serie eliminano frequenze indesiderate meglio di una sezione sola, per cui può, a volte, essere necessario l'uso di diverse cellule filtranti.

SIMBOLI - ABBREVIAZIONI

E_L = Tensione ai capi di un'induttanza

E_C = Tensione ai capi di una capacità

P_{app} = Potenza apparente

P_m = Potenza media

F_o = Frequenza di risonanza. A volte « f_o »

FORMULE

$E_L = IX_L$

$E_L = I\,(2\pi FL)$

$E_C = IX_C$

$E_C = I\,(1:2\pi FC)$

$P_{app} = I^2Z$

$P_{app} = E^2:Z$

$P_m = EI\,(R:Z)$

$P_m = EI \cos \vartheta$

$$P_m = \frac{\text{(area anse positive)} - \text{(area anse negative)}}{\text{lunghezza di un ciclo in radianti}}$$

$$P = \frac{E_{max}\,I_{max}}{2}$$

$Q = X_L:R$

In un circuito in serie L-C-R:

$$e = e_R + e_L + e_C$$

$$E = I\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(2\pi FL - \frac{1}{2\pi FC}\right)^2}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

In un circuito risonante:

$$F_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Un circuito L-C è in risonanza quando:

$$X_L = X_C$$

In un circuito L-C in parallelo:

$$Z = \frac{X_L\,X_C}{X_L + X_C}$$

DOMANDE sulle LEZIONI 34ª e 35ª

N. 1 — Quale relazione sussiste tra le cadute di tensione presenti in un circuito in serie L-R o C-R percorso da corrente alternata?

N. 2 — Quali relazioni sussistono tra le cadute di tensione presenti in un circuito in serie R-C-L percorso da corrente alternata?

N. 3 — Come si comporta un circuito L-C nei confronti della corrente, se la reattanza induttiva è eguale a quella capacitiva?

N. 4 — In quali condizioni si trova un circuito L-C se la reattanza induttiva è eguale a quella capacitiva?

N. 5 — Quale relazione sussiste tra le correnti dei due rami in un circuito L-C in parallelo?

N. 6 — Quali fenomeni si verificano in un circuito L-C risonante in parallelo?

N. 7 — La curva che esprime graficamente l'andamento della potenza in corrente alternata ha soltanto anse positive?

N. 8 — Cosa si intende per « potenza apparente » in un circuito L-C-R?

N. 9 — Quale è la formula che definisce la potenza media effettiva?

N. 10 — Quale è la caratteristica che in un circuito L-C-R dissipa effettivamente una certa potenza allorchè esso è percorso da corrente alternata?

N. 11 — Che cosa determina l'intensità della corrente che circola in un circuito risonante?

N. 12 — Come si comporta un circuito L-C in serie nei confronti del generatore allorchè è sintonizzato su una frequenza inferiore a quella di risonanza?

N. 13 — Quale valore induttivo deve essere collegato in serie ad una capacità di 250 pF, per ottenere la risonanza a 500 kHz?

N. 14 — In qualsiasi circuito L-C sintonizzato, cosa accade alla frequenza di risonanza se la capacità aumenta?

N. 15 — Nei confronti della sorgente di tensione, come sono le tensioni presenti ai capi di un'induttanza e di una capacità in un circuito risonante in serie, alla frequenza di risonanza?

N. 16 — Come si comporta un circuito risonante in parallelo nei confronti del generatore se la frequenza di sintonia è inferiore a quella di risonanza?

N. 17 — Come deve essere collegato un circuito risonante in parallelo nei confronti del carico per eliminare una determinata gamma di frequenze?

N. 18 — Di che tipo è un filtro usato per impedire il passaggio di una tensione alternata avente una frequenza di 50 Hz?

RISPOSTE alle DOMANDE di Pag. 257

N. 1 —
Sotto forma di un campo elettrostatico.

N. 2 —
Per costante dielettrica si intende il rapporto tra il numero delle linee elettriche che si creano in un materiale dielettrico e quello delle linee che si creerebbero nell'aria una volta tolto detto materiale, ferme restando tutte le altre caratteristiche meccaniche ed elettriche.

N. 3 —
Viene denominato « corrente di spostamento dielettrico ».

N. 4 —
La superficie degli elettrodi (solo quella interessata), la distanza tra gli stessi, e la costante dielettrica del materiale presente tra loro.

N. 5 —
La capacità aumenta.

N. 6 —
Aumenta, in quanto le due capacità si sommano.

N. 7 —
Nessuna resistenza o impedenza; il condensatore si comporta al primo istante come un corto-circuito.

N. 8 —
La corrente aumenta, in quanto la reattanza diminuisce con l'aumentare della frequenza.

N. 9 —
Si sviluppa una tensione di 17,29 volt, in 80 secondi.

N. 10 —
Che in una induttanza la tensione è in anticipo rispetto alla corrente, e che in una capacità invece la corrente è in anticipo rispetto alla tensione.

N. 11 —
La reattanza è pari a 79,5 ohm.

N. 12 —
La capacità ammonta a 0,002 F, ossia a 2.000 µF.

N. 13 —
Corrisponde a 20 µF.

N. 14 —
Corrisponde a 2.000 pF.

N. 15 —
Perchè i suoi elettrodi, avvolti a spirale per costituire un unico blocco di forma cilindrica, costituiscono oltre che una capacità due induttanze accoppiate tra loro.

N. 16 —
La capacità è di 1.000 pF.

N. 17 —
La capacità è di 66,7 pF.

N. 18 —
Per ragioni di assoluta sicurezza, del 50%.

N. 19 —
Dalle caratteristiche e dallo spessore del dielettrico.

N. 20 —
Il minimo spessore del dielettrico.

N. 21 —
A correggere differenze di capacità.

N. 22 —
Per ottenere una variazione di capacità non lineare.

TABELLA 49 —

GRAFICO per il CALCOLO dello SFASAMENTO nei CIRCUITI R-C, R-L ed R-C-L

Il grafico (pagina a lato), consente il calcolo dello sfasamento di una caduta di tensione alternata presente *ai capi di una resistenza, nei confronti della tensione della sorgente,* in circuiti in serie misti R-C, R-L ed R-C-L.

Esso si basa su principi noti al lettore, e precisamente:

1) La differenza di fase tra la tensione a. presente ai capi di una resistenza, e quella presente ai capi di una capacità o di una induttanza ad essa in serie, *è sempre di 90°*.

2) Se il circuito in serie è del tipo *R-C* (resistenza e capacità), la tensione ai capi della resistenza è *in anticipo* rispetto a quella fornita dalla sorgente, quella ai capi della capacità è in ritardo.

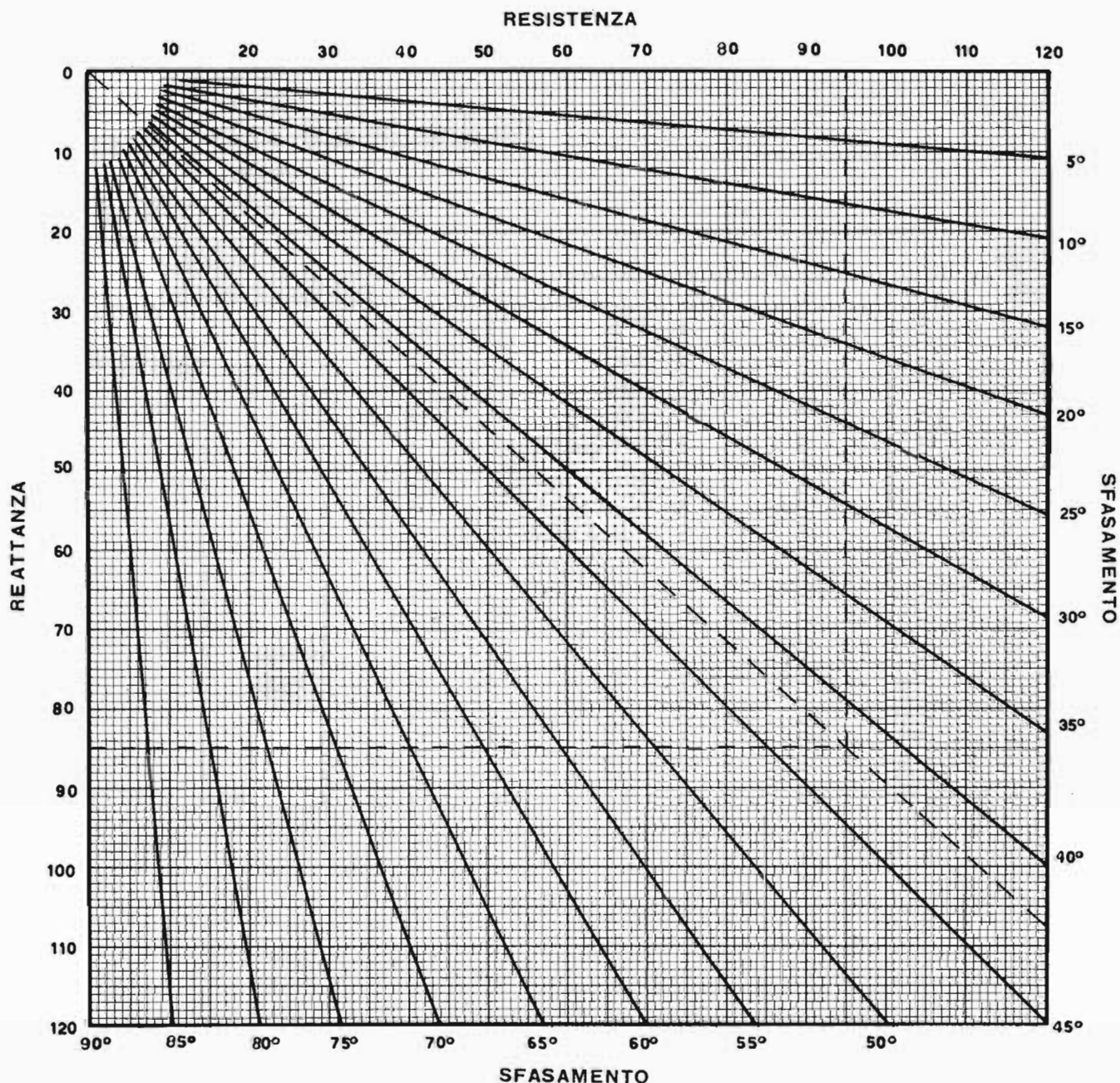
3) Se il circuito è del tipo *R-L*, la tensione ai capi della resistenza è *in ritardo,* quella ai capi dell'induttanza è in anticipo.

4) Se il circuito è del tipo *R-C-L*, la relazione di fase dipende dalle diverse reattanze. La reattanza totale è ricavata *dalla differenza tra i due valori* di X_C ed X_L. Il valore risultante viene considerato come reattanza capacitiva se $X_C > X_L$, e come reattanza induttiva se $X_L > X_C$. Se il valore risultante è di reattanza capacitiva, la tensione ai capi della resistenza sarà in anticipo rispetto a quella della sorgente, e viceversa.

Uso del grafico. Noti i valori di R (resistenza), C (capacità), L (induttanza), F (frequenza), ed i relativi valori di X_C (reattanza capacitiva) o di X_L (reattanza induttiva), basterà individuarli sulle relative scale. Sulla scala superiore orizzontale (resistenza), si individua il valore ohmico di R. Sulla scala verticale sinistra (Reattanza), si individua il valore di X_C o di X_L. Da detti punti si tracciano due coordinate, che si intersecheranno in un dato punto. Partendo dall'angolo superiore sinistro (contrassegnato « O »), si traccia una retta passante per il punto di incontro delle due coordinate, prolungandola fino ad incontrare una delle due scale dello sfasamento, tarate direttamente in gradi. Su di esse si leggerà lo sfasamento risultante, con buona approssimazione.

Le due scale, « Resistenza » e « Reattanza », sono numerate da 0 a 120 ohm. Ciò non limita l'impiego ai soli valori di resistenza o reattanza tra 0 e 120 ohm: i valori delle scale possono essere moltiplicati o divisi per un multiplo o sottomultiplo decimale, senza apportare varianti alla scala dello sfasamento. Detti valori possono essere considerati — ad esempio — da 0 a 1,2 (dividendo entrambe le scale per 100), o da 0 a 12.000 (moltiplicandole per 100). È necessario che *entrambe vengano moltiplicate o divise per il medesimo numero.*

Per semplicità, gli esempi che seguono coincidono con quello riportato sul grafico.

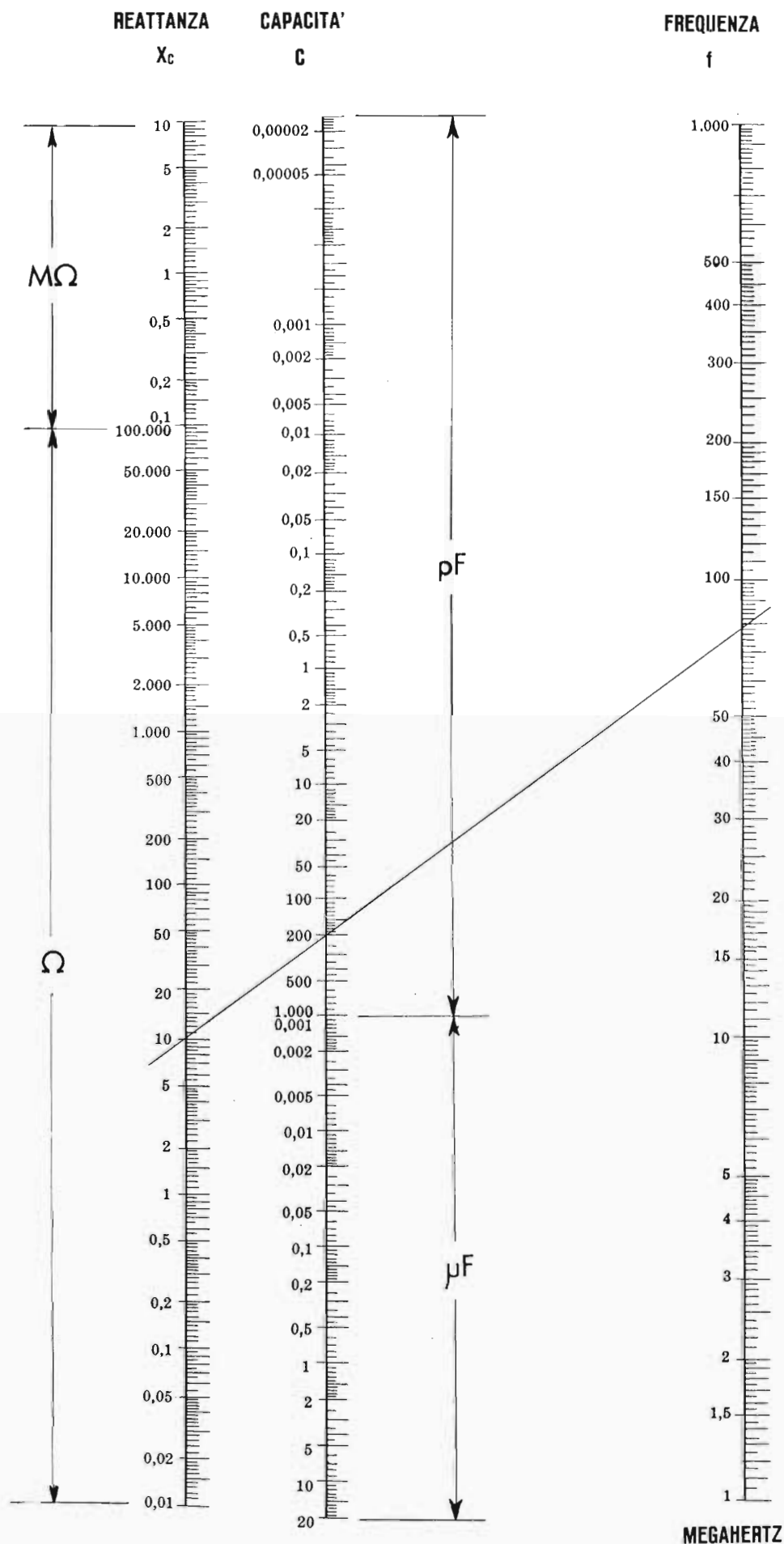
1° esempio: Si abbia un circuito in serie con R di 95 ohm e C di 20 µF. Se la frequenza della tensione applicata è di 100 Hz, la reattanza capacitiva del condensatore (vedi pag. 286) ammonta a 85 ohm. Tracciando le coordinate a partire da detti due punti sulle scale relative, e la retta avente inizio nel punto di origine, passante per il punto di intersezione delle coordinate, si legge (scala verticale destra) uno sfasamento di circa 42°: è il valore

dell'anticipo di fase della tensione ai capi di R rispetto alla tensione della sorgente.

2° esempio: Si abbia un circuito in serie con R di 95 ohm ed L di 0,135 henry. Se la frequenza della tensione applicata è di 100 Hz, la reattanza induttiva X_L sarà 85 ohm (tabella 41) e le coordinate coincideranno con quelle dell'esempio precedente. In questo caso però, 42° rappresentano il ritardo della tensione ai capi di R.

3° esempio: Si abbia un circuito in serie con R di 95 ohm, C di 100 μF, ed L di 0,17 henry. Se la frequenza della tensione applicata è di 100 Hz, i valori reattivi saranno, X_C = 15 ohm, ed X_L = 100 ohm. Poichè $X_L > X_C$, la differenza tra i due valori, pari a 85 ohm, verrà considerata come valore di reattanza induttiva. Di conseguenza, le coordinate — anche in questo caso coincidenti con quelle riportate sul grafico — consentiranno di calcolare il valore di 42° di sfasamento, ossia di ritardo della tensione ai capi di R rispetto alla tensione fornita dalla sorgente.

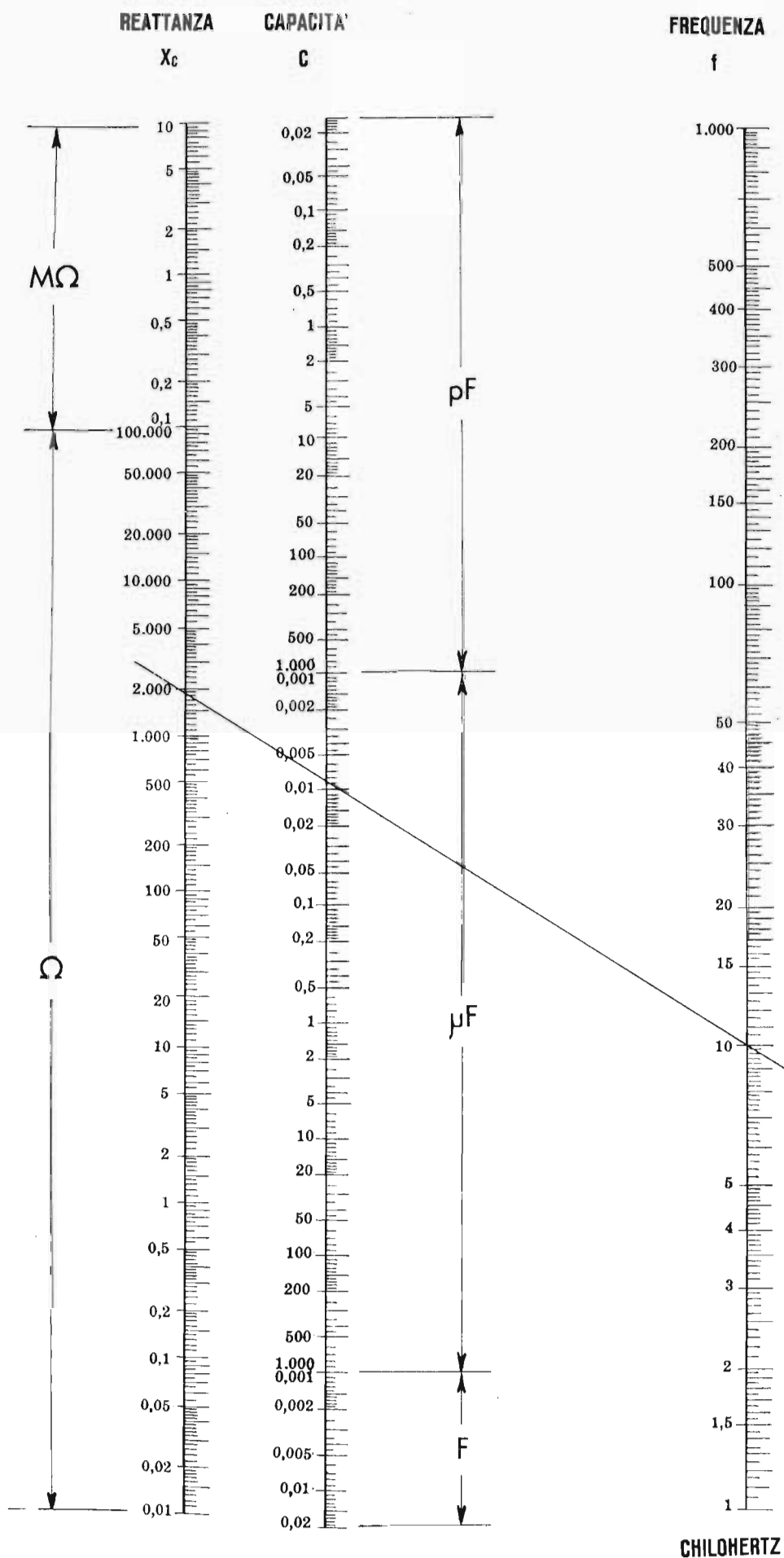
TABELLA 50 —

GRAFICI delle RELAZIONI RECIPROCHE tra REATTANZA CAPACITIVA CAPACITA' - FREQUENZA

I tre grafici riportati nelle pagine successive sono del tutto analoghi a quelli pubblicati nel fascicolo 10 (tabella 41) per il calcolo della reattanza induttiva. Essi consentono di calcolare la reattanza capacitiva per valori compresi tra 0,00002 picofarad e 20 farad, con frequenze comprese tra 1 Hz e 1.000 MHz. Anche questi grafici — come i precedenti — sono reversibili, e, sebbene il loro impiego sia identico a quello precedentemente indicato, gli esempi riportati su ciascuno di essi potranno meglio chiarirne la praticità e l'utilità.

L'esempio riportato può essere interpretato in tre modi:

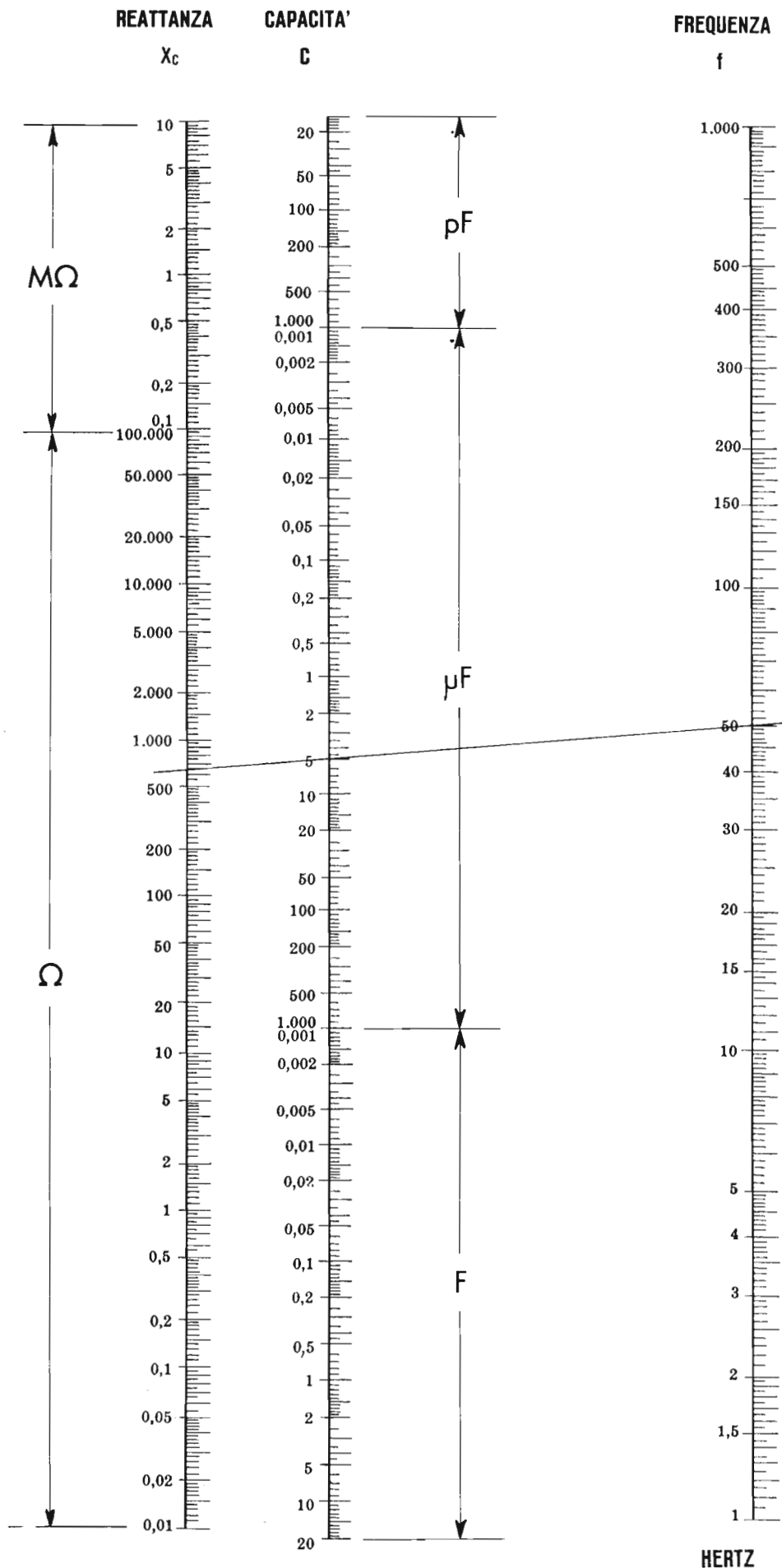
1) Sia nota la capacità di 200 pF, e la frequenza di 78 MHz. Unendo i due punti relativi sulle rispettive scale della capacità e della frequenza, e prolungando la retta fino ad incontrare quella della reattanza, troviamo che la reattanza capacitiva ammonta a 10 ohm.

2) Sia nota la reattanza capacitiva di 10 ohm e la capacità di 200 pF. In tal caso la frequenza alla quale sussiste detto valore di reattanza è pari a 78 MHz.

3) Sia nota la reattanza capacitiva di 10 ohm e la frequenza di 78 MHz. In tal caso, la capacità che oppone tale reattanza a tale frequenza deve avere il valore di 200 picofarad.

L'esempio riportato può, come il precedente, essere interpretato in tre modi:

1) Nota la capacità di 0,009 µF, e la frequenza di 10 kHz, la reattanza capacitiva ammonta a 1.800 ohm.

2) Nota la reattanza capacitiva di 1.800 ohm, e la capacità di 0,009 µF, la frequenza alla quale sussiste detto valore di reattanza è pari a 10 kHz.

3) Nota la reattanza capacitiva di 1.800 ohm e la frequenza di 10 kHz, la capacità che oppone tale reattanza a tale frequenza deve avere il valore di 0,009 µF.

L'esempio riportato può — come i precedenti — essere interpretato in tre modi:

1) Nota la capacità di 5 μF e la frequenza di 50 Hz, la reattanza capacitiva ammonta a 650 ohm.

2) Nota la reattanza capacitiva di 650 ohm e la capacità di 5 μF, la frequenza alla quale sussiste detto valore di reattanza è pari a 50 Hz.

3) Nota la reattanza capacitiva di 650 ohm e la frequenza di 50 Hz, la capacità che oppone tale reattanza a tale frequenza deve avere il valore di 5 μF.

È una rivista a carattere tecnico commerciale che su ognuno dei suoi fascicoli di oltre 100 pagine, tratta — con indirizzo di praticità e accessibilità senza pari — tutti i problemi dell'elettronica.

La Televisione, la tecnica della Bassa Frequenza, con particolare riguardo all'Alta Fedeltà, l'emissione dilettantistica, le misure ed i relativi apparecchi, i transistori, ecc. sono argomenti, praticamente, di ogni numero.

Un'ampia e dettagliata rassegna della produzione nazionale ed estera offre al lettore la possibilità di mantenersi al corrente su ciò che costantemente il mercato presenta di nuovo.

È una rivista ricca di contenuto — ove tutti gli articoli sono accessibili a tutti i lettori — molto illustrata, stampata su ottima carta, razionalmente impaginata.

Ecco perchè RADIO e TELEVISIONE è realmente — da diverso tempo — la rivista del ramo a più alta tiratura in Italia!

Abbonamento: "RADIO e TELEVISIONE" - via dei Pellegrini N° 8/4
conto corr. postale: 3/4545 - Milano

Una copia - alle edicole - Lire 300

"RADIO e TELEVISIONE": la più utile - la più interessante - la più aggiornata - una grande rivista.

4 copie gratuite

Il fascicolo dicembre 1960 (N. 96) ora in vendita alle edicole sarà offerto in omaggio unitamente ai tre fascicoli precedenti (o ad altri da indicare) a coloro che invieranno la quota di abbonamento per i 12 Numeri del 1961: . . . Lire 3060.

Sconto 10 % agli abbonati al "Corso di Radiotecnica": . . Lire 2754.

Sul prossimo fascicolo

due lezioni dedicate interamente alla teoria di funzionamento ed alla costruzione (con esempio di calcolo) dei TRASFORMATORI DI ALIMENTAZIONE. La terza lezione è corredata di tabelle e grafici di grande praticità, utilissimi per una immediata conoscenza degli elementi e dei dati costruttivi.

Per un anno,
a domicilio,
un completo Corso
che vi costa
un decimo
di tutti gli altri Corsi

Vi formerete
un volume
di ben 1248 pagine:
un prezioso
manuale-enciclopedia
di elettronica

I numeri arretrati costano lire 300 cadauno, tuttavia, per agevolare coloro che fossero privi di qualche fascicolo, ne offriamo l'invio dietro rimessa - a mezzo vaglia - dell'importo di sole lire 150 per fascicolo.

corso di RADIOTECNICA

pubblicazione settimanale - 24 - 31 dicembre 1960 - un fascicolo lire 150 13° numero

corso di
RADIOTECNICA

settimanale a carattere culturale

Direzione, Amministrazione, Pubblicità:
Via dei Pellegrini 8/4 - Telef. 593.478
MILANO

Ogni fascicolo — contenente 3 lezioni — costa lire 150, acquistato alle edicole.

Se l'edicola risulta sprovvista, o si teme di rimanere privi di qualche numero, si chieda invio settimanale direttamente al proprio domicilio a mezzo abbonamento.

Il versamento per ricevere i 52 fascicoli costituenti l'intero Corso è di lire 6500 + I.G.E. = lire 6630. A mezzo vaglia postale, assegno bancario, o versamento sul conto corr. postale 3/41.203 del « Corso di RADIOTECNICA » - Via dei Pellegrini 8-4 - Milano. In ogni caso, scrivere in modo molto chiaro e completo il proprio indirizzo.

L'abbonamento può essere effettuato in qualsiasi momento; si intende comprensivo delle lezioni pubblicate e dà diritto a ricevere tali lezioni, che saranno inviate con unica spedizione.

Estero: abbonamento al Corso, Lit. 8.500. ($ 15). Numeri singoli Lit. 300 ($ 0,50).

Per i cambi di indirizzo durante lo svolgimento del Corso, unire lire 100, citando sempre il vecchio indirizzo.

Fascicoli singoli arretrati — se disponibili — possono essere ordinati a lire 300 cadauno.
Non si spedisce contrassegno.

Distribuzione alle edicole di tutta Italia: Diffus. Milanese . Via Soperga, 57 - Milano.

Direttore responsabile: Giulio Borgogno.
Autorizzaz. N. 5357 - Tribunale di Milano.
Stampa: Intergrafica S.r.l. - Cologno Monzese.

La Direzione non rivende materiale radio; essa può comunicare, se richiesta, indirizzi di Fabbricanti, Importatori, Grossisti ecc. in grado di fornire il necessario ed ai quali il lettore può rivolgersi direttamente.

Alla corrispondenza con richiesta di informazioni ecc. si prega allegare sempre il **francobollo per la risposta**.

Parte del testo e delle illustrazioni è dovuta alla collaborazione del Bureau of Naval Personnel, nonchè al Dept. of the Army and the Air Force - U.S.A.

A chi può essere utile questo Corso? Anzitutto — stante la sua impostazione — il Corso, basato sull'esposizione in forma a tutti accessibile, della radiotecnica, dai suoi elementi basilari alla evoluzione più recente, rappresenta la forma ideale per tutti coloro che intendono dedicarsi all'elettronica, sia come forma ricreativa sia — soprattutto — per l'acquisizione di una professione specializzata che possa procurare loro una posizione di privilegio in seno alla società odierna.

Anno per anno, la nostra civiltà si indirizza sempre più verso questa meravigliosa, si potrebbe dire fascinosa, elettronica, che nel modo più evidente consente sviluppi impensati, progressi grandiosi e una rapida evoluzione di tutti gli altri rami dello scibile che essa tocca e influenza.

L'industria, tutta l'industria, nel senso più ampio, da quella elettrotecnica a quella meccanica, alla metallurgica, alla chimica ecc., con i suoi laboratori di ricerca e le sue fabbriche richiede, e richiederà sempre più, con un ritmo rapidamente crescente, tecnici specializzati con conoscenza dell'elettronica, tecnici specificatamente elettronici e persino operai e impiegati di ogni ordine e categoria con cognizioni di elettronica.

Si può dire che anche le branche commerciali, quelle dei trasporti e persino quelle amministrative con le recenti introduzioni delle calcolatrici, abbisognano di personale che conosca i principi dell'elettronica, le macchine relative, il loro pieno sfruttamento, la eventuale riparazione ecc. e, quanto più in modo completo, quanto meglio.

Nasce, da una tale situazione, una logica conseguenza: per la scelta di una professione o di un mestiere, per un miglioramento della propria posizione sociale, per l'intrapresa di una libera attività o anche per la sola acquisizione di cognizioni che indubbiamente verranno oltremodo utili, è quanto mai opportuno riflettere se non sia conveniente dedicare un po' di tempo allo studio di questa scienza che ha tra l'altro il pregio di rendersi immediatamente attraente, concreta, accessibile e foriera di moltissime soddisfazioni.

A questo scopo appunto, e con questi intenti, è stato redatto questo Corso.

Non mancano invero altri corsi (specie per corrispondenza) o scuole di radiotecnica, nè mancano (sebbene siano in numero del tutto inadeguato) scuole statali o pareggiate ma la struttura e l'impostazione che caratterizzano queste 156 lezioni sono alquanto particolari, presentando non pochi vantaggi sulle diverse altre forme di cui si è detto.

Anzitutto vogliamo porre in evidenza **il fattore economico.**

Frequentare regolarmente, durante tutto l'anno, una scuola è certo il modo più logico — anche se non il più rapido — per apprendere ma, tralasciando il fatto che rarissimi sono gli Istituti di radiotecnica, è a tutti possibile dedicarsi esclusivamente, e per l'intero anno, allo studio? Noi riteniamo che chi può farlo costituisca oggi assai più l'eccezione che la regola. Ciò significa infatti poter disporre liberamente del proprio tempo senza avere la necessità di un contemporaneo guadagno: il nostro Corso permette a chiunque di studiare a casa propria, nelle ore libere dal lavoro, senza abbandonare o trascurare quest'ultimo. Ciò caratterizza invero anche altri corsi, ma il vantaggio economico diviene notevole ed evidentissimo se si considera che di fronte all'esborso, anche se rateale, di quasi 80.000 lire che i corsi per corrispondenza richiedono, seguendo il nostro Corso la spesa in un anno risulta di poco più di 7500 lire (150 lire alla settimana presso un'edicola) o di 6630 lire totali, con recapito postale, settimanale, delle lezioni a domicilio.

E' superfluo dire che la Modulazione di Frequenza, i transistori, i circuiti stampati, la trasmissione, il telecomando ecc. sono argomenti integrali del Corso e non costituiscono motivo di corsi speciali, aggiunti o particolari.

Le lezioni di questo Corso — a differenza di molte altre — non sono stampate con sistemi di dispensa, a ciclostile, o con sistemi più o meno analoghi, derivanti cioè da un originale battuto a macchina da scrivere; esse sono stampate in uno stabilimento grafico, con chiari caratteri tipografici da cui deriva una assai più agevole lettura e — fattore certamente di non secondaria importanza — un contenuto molto più ampio, corrispondendo una pagina a stampa a tre o quattro pagine di quelle citate. Il lettore avrà, alla fine del Corso, un volume di ben 1248 pagine di grande formato!

Chiunque, indipendentemente dall'età, dalla professione e dalle scuole compiute **può seguire il Corso.** Alle esposizioni teoriche si abbinano numerose, attraenti, istruttive ed utili descrizioni che consentono la realizzazione di ricevitori, amplificatori, strumenti vari e persino di trasmittenti su onde corte.

A questo proposito è sintomatico il fatto che la Direzione non vuole assolutamente assumere la fisionomia di un fornitore o commerciante di materiale radio, rivendendo agli allievi le parti necessarie. Il materiale occorrente l'interessato può acquistarlo dove e come meglio crede e, assai spesso anzi, già ne dispone. Viene così evitato l'acquisto forzoso, caratteristico più o meno di tutti gli altri corsi.

Anche chi è già radiotecnico, anche chi ha seguito o segue altri corsi troverà il massimo tornaconto in questo completo ed aggiornato lavoro. Molte nozioni, è logico, saranno note, altre un po' meno e sarà utile rinfrescarle, e il tutto infine costituirà un manuale di consultazione, prezioso tanto per la teoria esposta quanto per i numerosi schemi, per le tabelle, per i grafici, gli elenchi, i dati, il vocabolario dei termini ecc.

Concludendo, si può affermare che questo **Corso di Radiotecnica** oltre che come insegnamento graduale si presenta come **enciclopedia e rivista assieme** ciò che permette di formare — con modestissima spesa — **il più completo, ricco, utile e pratico volume di radiotecnica di cui sia dato oggigiorno disporre.**

TRASFORMATORI

L'uso appropriato dell'energia elettrica, così come quello dell'energia meccanica, richiede spesso l'impiego di dispositivi atti a convertire l'energia disponibile alla sorgente in una forma di energia meglio utilizzabile dal carico. Ad esempio, una scatola di rapporti meccanici ad ingranaggi, posta tra un motore ed una sega circolare, può avere caratteristiche tali da far sì che detta sega lavori lentamente (ma con notevole forza) oppure velocemente (ma con minor potenza), a seconda delle necessità derivanti dalla qualità e dalla durezza del materiale in lavorazione. Analogamente, è spesso necessario predisporre i circuiti elettrici in modo che la potenza disponibile possa comportarsi, nei confronti del carico, come la più appropriata fra le tante combinazioni di valori di tensione e corrente — in altre parole — tra tutte le combinazioni comprese tra un'alta tensione, con debole corrente, o una notevole corrente con bassa tensione.

Il dispositivo elettrico che compie la funzione paragonabile a quella della scatola di rapporti meccanici ad ingranaggi, si chiama **trasformatore.** Esso trasforma la potenza elettrica disponibile variando il rapporto tensione-corrente. È tuttavia opportuno notare subito che nè il dispositivo meccanico, nè quello elettrico possono modificare la quantità di potenza a disposizione.

Il funzionamento di un trasformatore è basato sul principio dell'induzione elettromagnetica, e di essa, così come del trasformatore stesso nella sua più ampia definizione, ci siamo già occupati, perciò il lettore dovrebbe già avere un concetto abbastanza chiaro dell'organo in oggetto. Il trasformatore consiste in uno o più avvolgimenti, reciprocamente influenzati dalla corrente che li percorre, nel senso che — essendo accoppiati induttivamente — la corrente che percorre un avvolgimento induce una tensione nell'altro o negli altri. Ciò prova che esiste un'induttanza mutua tra detti avvolgimenti.

La **figura 1** illustra lo schema di principio: un avvolgimento — che sappiamo essere detto *primario* — è collegato alla sorgente d'energia, mentre un altro avvolgimento, il *secondario* — che riceve la tensione indotta — è collegato al carico di utilizzazione. La potenza erogata dal generatore passa attraverso il trasformatore ed alimenta il carico, nonostante l'assenza di qualsiasi collegamento diretto fra i due circuiti; il passaggio avviene — ripetiamo — per induzione. Ne consegue che la potenza consumata dal primario equivale a quella dissipata dal secondario, ossia $P_p = P_s$. Se gli avvolgimenti del trasformatore fossero troppo lontani tra loro, o comunque, completamente schermati tra loro, non avrebbe luogo alcun passaggio di energia ed il trasformatore sarebbe inutile.

Per ottenere il massimo trasferimento di energia dal primario al secondario, è necessario perciò che **l'accoppiamento sia il più stretto possibile.** Tutte le linee di forza prodotte dal campo magnetico del primario, debbono poter influenzare l'avvolgimento secondario. Per questo motivo quest'ultimo è spesso avvolto direttamente sul primo, mediante la semplice interposizione di un sottile strato di materiale isolante.

Dal momento che la riluttanza dell'aria è massima e la sua permeabilità è minima, l'introduzione all'interno degli avvolgimenti di un nucleo di ferro ad alta permeabilità in sostituzione dell'aria, aumenta l'accoppiamento del flusso tra le bobine e rende possibile il massimo trasferimento di energia richiesto.

Alcune linee di forza però, nonostante l'uso di un nucleo ad alta permeabilità, vengono disperse — in quanto non riescono a raggiungere il secondario — rappresentando così una perdita: tale perdita impedisce al trasformatore di costituire un mezzo di trasferimento d'energia perfetto al 100%. Ciononostante, un trasformatore accuratamente progettato può consentire il trasferimento del 98% dell'energia che circola nel suo primario, il che significa in altre parole che K — coefficiente di accoppiamento tra le bobine — ammonta a 0,98.

La **figura 2** illustra un trasformatore tipico con nucleo di ferro. Le linee di flusso create dal primario si ripercuotono, come si vede, sul secondario, grazie alla bassa riluttanza del circuito magnetico. Nella figura è possibile notare anche il flusso disperso di cui si è fatto cenno. La **figura 3-A** mostra il tipo di nucleo ferroso cosiddetto a « mantello ». Esso è il tipo più comunemente usato. La figura 3-**B** illustra la sezione trasversale dell'avvolgimento nel suo aspetto convenzionale. Ogni strato dell'avvolgimento è separato da quello sottostante e da quello soprastante mediante sottili fogli di carta paraffinata; l'avvolgimento primario è separato dal secondario mediante uno strato di carta o di cartoncino di maggiore spessore, a volte imbevuto di una speciale vernice isolante.

TEORIA sul FUNZIONAMENTO di un TRASFORMATORE

L'attitudine da parte di un trasformatore a trasferire l'energia dal primario al secondario, grazie all'effetto di accoppiamento del flusso, è dovuta — come si è det-

Fig. 1 — Schema di principio del trasformatore. Un avvolgimento, « Primario », è connesso alla sorgente di corrente; un altro avvolgimento, « Secondario », è connesso al carico di utilizzazione. L'induzione trasferisce l'energia dal primario al secondario. Per le correnti a frequenza di rete o a Bassa Frequenza, l'aria all'interno degli avvolgimenti offre un'alta riluttanza: si introduce allora un nucleo di ferro (sbarre verticali, nel disegno) che aumenta la permeabilità e quindi l'accoppiamento.

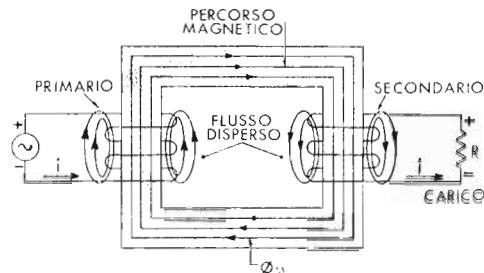



Fig. 2 — La figura pone in evidenza come il nucleo di ferro al quale si è fatto cenno determini il percorso del flusso magnetico tra avvolgimento primario ed avvolgimento secondario. È posta in evidenza anche quella parte di flusso che non raggiunge l'altro avvolgimento e che è detta « flusso disperso ».

to — all'accoppiamento induttivo, ossia all'induttanza mutua. Per questo, logicamente, l'induttanza di ognuno degli avvolgimenti deve essere la massima possibile. Se il trasformatore potesse essere realizzato in una esecuzione ideale (ossia con avvolgimenti aventi addirittura una induttanza infinita), la reattanza induttiva del primario sarebbe infinita per qualsiasi frequenza della c.a. In pratica, alla normale frequenza della rete di distribuzione dell'energia elettrica, ad esempio, l'induttanza del primario, che non può invero essere infinita, deve essere ciononostante abbastanza elevata da presentare alla tensione in arrivo una reattanza apprezzabile. Se, ad esempio, il nucleo di ferro di un trasformatore funzionante con una frequenza di 50 Hz venisse asportato, la reattanza induttiva diminuirebbe notevolmente: il circuito primario lascerebbe passare una corrente notevole anche senza carico alcuno applicato al secondario.

La corrente magnetizzante che circola in assenza di carico nell'avvolgimento primario di un trasformatore deve essere mantenuta al valore più basso possibile, in quanto costituisce una perdita. Che essa sia una perdita è intuitivo dato che, in assenza di carico, l'energia così dissipata non è affatto necessaria.

Maggiore è l'induttanza e maggiore è la reattanza, e — nello stesso tempo — minore è la corrente magnetizzante occorrente per determinare il necessario accoppiamento induttivo.

L'importanza della reattanza del primario e l'effetto del secondario su di essa, possono essere compresi mediante un'analisi graduale. Nella **figura 4-A** è illustrato un trasformatore semplice, con un avvolgimento primario ed un avvolgimento secondario avvolti su di un nucleo di ferro dolce. Il primario è collegato ad una sorgente di c.a., mentre il secondario viene lasciato aperto affinchè i suoi effetti non abbiano una influenza apprezzabile nella prima parte della nostra analisi. In questo caso il primario non è in realtà che una semplice induttanza con nucleo magnetico e, come tale, offre una reattanza induttiva alla sorgente. La corrente, che dipende dall'ammontare di detta reattanza, determina la presenza di un campo magnetico variabile nel nucleo. La corrente e la tensione sono sfasate di 90°, con ritardo da parte della corrente.

La direzione delle linee di flusso viene determinata mediante la nota regola della mano sinistra. Si crea pertanto una forza elettro motrice, *Ep'*, opposta alla tensione applicata, *Ep*, e sfasata di 180° rispetto ad essa, con uno sfasamento di 90° rispetto alla corrente primaria, *Ip*, che è in ritardo, come si è detto sopra e come è illustrato dal diagramma vettoriale alla figura **4-B.**

Nella **figura 5-A**, viene illustrato il medesimo trasformatore, nella rappresentazione sul secondario di detto effetto relativo all'azione del primario (per semplificazione, non è riportata la rappresentazione dell'effetto al primario). È facile constatare che il secondario costituisce di per se stesso una semplice induttanza nella quale è indotta una tensione a causa del flusso variabile prodotto dal primario. Tale tensione indotta ha la medesima direzione della f.e.m. opposta del primario. Il circuito secondario è rappresentato chiuso da una resistenza in modo che in esso possa scorrere una certa corrente.

La tensione indotta si comporta come se provenisse da un generatore collegato in serie al secondario considerato come un'induttanza. La corrente che percorre il secondario è perciò in ritardo di 90° rispetto alla tensione, così come è illustrato, ricorrendo ai vettori, alla figura 5-**B.** È importante notare che la direzione iniziale della tensione è la medesima della f.e.m. opposta del primario, di cui alla figura 4-B.

Nel medesimo istante considerato per l'analisi del primario, la corrente secondaria e le linee di forza sono nella direzione illustrata nella figura 5-A (regola della mano sinistra). Le linee di flusso create dalla corrente secondaria sono in direzione opposta rispetto a quelle create dalla corrente primaria. La corrente secondaria I_s, diminuisce perciò l'impedenza del circuito primario, opponendosi alle linee di flusso prodotte dalla corrente primaria. Quest'ultima è costretta ad aumentare in proporzione onde mantenere l'accoppiamento tra i due avvolgimenti.

Se il carico collegato al secondario fa aumentare la corrente che circola in esso, aumenta di conseguenza anche la corrente primaria prelevata dalla sorgente di alimentazione. L'opposizione tra le linee di forza di un trasformatore si accorda con la **legge di Lenz**, secondo la quale **una tensione indotta** (e la corrente da essa risultante) **è sempre in direzione tale da opporsi alla forza che la determina.** Se l'influenza del secondario fosse tale infatti da « aiutare » le linee di flusso provocate dal primario, un aumento della corrente secondaria provocherebbe

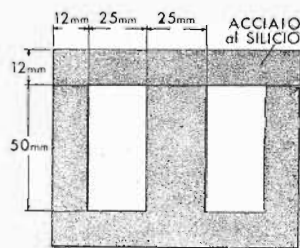



Fig. 3A — Il nucleo di ferro in pratica assume spesso questa forma ed è costituito da un assieme di « lamierini » di ferro al silicio sovrapposti: sono riportate delle misure dimensionali ai fini indicativi dei rapporti.

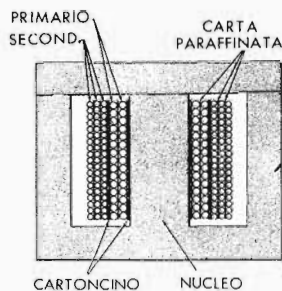



Fig. 3B — Gli avvolgimenti, primario e secondario, sono disposti uno sopra all'altro e sono visti qui, in sezione. Essi sono avvolti a parte, e poi collocati attorno al gambo centrale del lamierino.

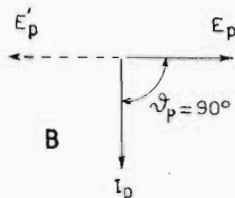
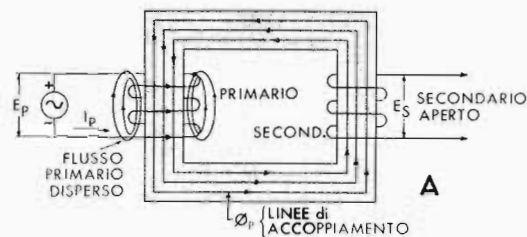



Fig. 4A e B — Col secondario aperto, il primario è in realtà una semplice induttanza: in essa si crea perciò una tensione opposta alla tensione applicata (vedi diagramma vettoriale).

un aumento delle linee di flusso ed un aumento dell'induttanza (quindi della reattanza induttiva del primario) nonchè una corrispondente diminuzione della corrente primaria; ciò è assurdo, in quanto, in tal caso, il secondario erogherebbe al carico una potenza maggiore di quella che il primario riceve dalla sorgente.

L'effetto del secondario sul primario può essere considerato anche sotto un altro punto di vista.

La corrente secondaria determina una f.e.m. di autoinduzione, ossia una f.e.m. opposta, *Es'* nel secondario stesso; tale f.e.m. è in opposizione di fase (180°) rispetto alla tensione secondaria. Contemporaneamente, detta corrente secondaria determina anche una tensione indotta nel primario, in fase con la f.e.m. opposta cui ci siamo riferiti.

Dal momento che la tensione indotta nel primario è sfasata di 180° rispetto ad *Es* — ossia alla tensione del secondario — essa è in fase con *Ep*, ossia con la tensione applicata al primario, e sfasata di 180° rispetto ad *Ep'*, ossia la f.e.m. opposta del primario. L'effetto della corrente secondaria consiste perciò nell'eliminare in certo qual modo la tensione opposta primaria, vale a dire nell'aumentare la tensione applicata, permettendo il passaggio di una corrente più intensa nel primario stesso. Tali tensioni indotte sono messe in evidenza con linee tratteggiate nei diagrammi vettoriali B delle figure 4 e 5.

Possiamo ora analizzare il completo funzionamento del trasformatore, in funzione dei diagrammi vettoriali della **figura** 6. In essa, alla sezione **B**, si ha l'espressione vettoriale delle tensioni e delle correnti per una data corrente circolante nel secondario del circuito illustrato nella sezione **A**.

Le tensioni ai capi del trasformatore sono reciprocamente sfasate di 180° e pure di 180° sono sfasate tra loro le correnti. L'angolo di fase tra la tensione e la corrente del primario è di 90° con ritardo da parte della corrente; la stessa cosa avviene contemporaneamente nel secondario.

Come *Ro* — resistenza di carico — diminuisce, si dice che il carico aumenta con un corrispondente aumento della corrente secondaria. Dato che *Ro* è direttamente in parallelo al secondario, la corrente resistiva aumenta ed il circuito diventa sempre più resistivo; in altre parole, la tensione e la corrente nel secondario tendono ad avvicinarsi di fase, e l'angolo di fase ϑs si avvicina a 0 gradi.

Dal momento che la corrente primaria aumenta per un aumento della corrente secondaria — come si è detto precedentemente — la reattanza induttiva del primario ha in realtà subìto una diminuzione, per cui il circuito diventa maggiormente resistivo. Da ciò consegue che la tensione e la corrente dell'intero circuito primario tendono ad essere in fase, ossia l'angolo ϑp si approssima a 0 gradi.

Il diagramma vettoriale della figura 6-**C** illustra queste relazioni di fase per il trasformatore della sezione A della figura stessa, funzionante con un carico corrispondente a quello per il quale è stato calcolato. Un trasformatore ideale avrebbe le espressioni vettoriali della corrente e della tensione coincidenti tra loro, (ossia ϑs e $\vartheta p = 0°$), per cui, in ognuno dei lati, la tensione e la corrente sarebbero in fase tra loro, e la tensione e la corrente secondarie sarebbero sfasate di 180° rispetto alla tensione ed alla corrente primaria. Un trasformatore di tal genere permetterebbe un perfetto trasferimento di energia, di modo che il generatore di tensione troverebbe nel carico una resistenza equivalente pura (quasi come se il trasformatore non fosse collegato nel circuito) ma tuttavia con sfasamento di 180° per la tensione e la corrente.

RAPPORTO SPIRE: TENSIONE

Nello studio dell'induttanza effettuato precedentemente, l'ampiezza totale della f.e.m. indotta in una bobina è stata illustrata come dipendente dal numero delle spire e dal rapporto di variazione del flusso di accoppiamento del circuito; ciò è reso dalla formula:

$$e = -N \frac{d\varnothing}{dt}$$

Dal momento che il rapporto della variazione di flusso dipende dalla frequenza della corrente erogata dal generatore, l'ampiezza della tensione indotta in ognuno degli avvolgimenti del trasformatore dipende direttamente dal numero delle spire. In conseguenza, la f.e.m. indotta da una corrente variabile nel primario, non è eguale a quella indotta nel secondario, a meno che il numero delle spire primarie non sia eguale a quello delle spire secondarie. Inoltre, dal momento che la f.e.m. indotta di ritorno nel primario è eguale alla tensione applicata, è possibile stabilire un rapporto per determinare la f.e.m.

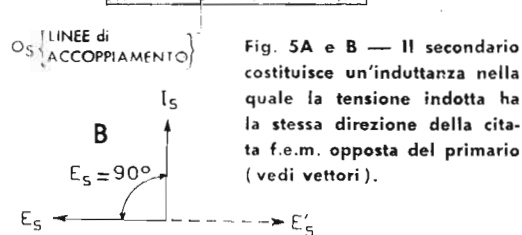
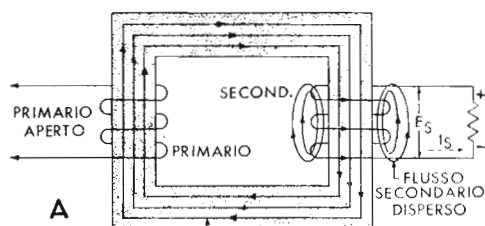



Fig. 5A e B — Il secondario costituisce un'induttanza nella quale la tensione indotta ha la stessa direzione della citata f.e.m. opposta del primario (vedi vettori).

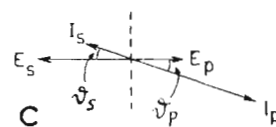
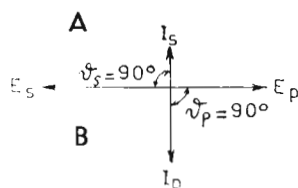
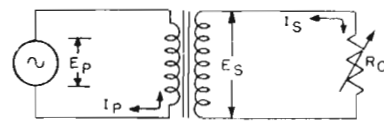



Fig. 6 A-B-C — In A, circuito del trasformatore, di cui in B è la rappresentazione vettoriale completa di tensioni e correnti, ed in C i vettori conseguenti alla resistenza di carico.

Fig. 7 — Trasformatore con rapporto di spire 4. Nel caso illustrato è detto « in salita ». Si hanno 0,44 volt/spira.

indotta nel secondario in funzione della tensione applicata e del rapporto tra le spire dei due avvolgimenti. Perciò:

$$\frac{E_p}{N_p} = \frac{E_s}{N_s}$$

nella quale E_p è la tensione applicata al primario, N_p il numero delle spire primarie, E_s la tensione indotta nel secondario ed N_s il numero delle spire secondarie.

Tale equazione può essere trascritta nel modo seguente:

$$E_pN_s = E_sN_p \quad \text{ossia} \quad E_s = \frac{E_pN_s}{N_p}$$

L'espressione $N_s:N_p$ o $N_p:N_s$ si chiama **rapporto tra le spire**, e può essere espressa come un singolo fattore. La **figura 7** illustra lo schema di un trasformatore avente 1000 spire al secondario e 250 al primario. Il rapporto tra le spire è quindi di 4:1, ossia 4. Se al primario di questo trasformatore si applica una tensione alternata di 110 volt, la tensione indotta nel secondario sarà pari a:

$$E_s = \frac{E_pN_s}{N_p} = \frac{110 \times 1000}{250} = 110 \times 4 = 440 \text{ volt.}$$

Un trasformatore di questo tipo viene detto *in salita*. Se il rapporto $N_s:N_p$ è inferiore ad 1, l'avvolgimento secondario ha un numero di spire inferiore del primario, per cui anche la tensione secondaria è inferiore a quella primaria; in questo caso, il trasformatore è detto *in discesa*.

È tuttavia opportuno notare che le espressioni « in salita » e « in discesa », nel senso inteso per i trasformatori, sono sempre riferite al livello di tensione e non a quello della corrente nè a quello della potenza, in quanto quest'ultimo livello, in un trasformatore accuratamente calcolato, viene considerato pressochè eguale sia al primario che al secondario.

Dal momento che la tensione indotta nel secondario è direttamente proporzionale al numero delle spire del secondario nei riferimenti di quelle del primario, il rapporto tra le tensioni primaria e secondaria di un dato trasformatore può essere calcolato determinando il numero di **volt per spira.** Così nell'esempio precedente, una tensione di 110 volt applicata ad un primario di 250 spire determina un rapporto di 0,44, ossia: volt/spira $= \frac{110}{250} = 0{,}44$.

Dal momento che il numero di volt per spira è un fattore costante per ogni dato trasformatore, la tensione nell'avvolgimento secondario può essere determinata moltiplicando tale costante per il numero di spire secondarie, ossia:

$$E_s = 1000 \times 0{,}44 = 440 \text{ volt}$$

Il rapporto volt per spira è comodo anche per determinare qualsiasi numero di tensioni secondarie nel caso in cui il trasformatore abbia più di un avvolgimento secondario. Ad esempio, la **figura 8** mostra la rappresentazione schematica di un trasformatore nel quale il primario è accoppiato con un certo numero di avvolgimenti secondari. Detto primario consiste di 200 spire, l'avvolgimento secondario *S1* ha 1200 spire, *S2* ne ha 850, *S3* ne ha 11 ed infine *S4* ne ha 22. Il fattore volt per spira di questo trasformatore è $E_p:N_p$, ossia 110:200, ed equivale a 0,55. Le tensioni indotte nei secondari sono dunque le seguenti:

$$E_s1 = 1200 \times 0{,}55 = 660 \text{ volt}$$
$$E_s2 = 850 \times 0{,}55 = 467{,}5 \text{ volt}$$
$$E_s3 = 11 \times 0{,}55 = 6{,}05 \text{ volt}$$
$$E_s4 = 22 \times 0{,}55 = 12{,}1 \text{ volt}$$

RAPPORTO SPIRE: CORRENTE

Nel trasferimento di potenza elettrica mediante un trasformatore ideale, la potenza assorbita dal primario può essere considerata eguale a quella erogata dal secondario, per cui:

$$P_p = P_s$$

In questo caso il carico si comporta come una resistenza pura nei confronti del generatore, come abbiamo detto precedentemente, e la potenza apparente è eguale a quella effettiva. Ne consegue che il fattore di potenza di quel trasformatore è eguale ad 1 e l'angolo di fase è di 0°. Perciò, la potenza dissipata in ognuno degli avvolgimenti corrisponde al fattore volt-ampère, ossia:

$$P_p = E_pI_p$$
$$P_s = E_sI_s$$

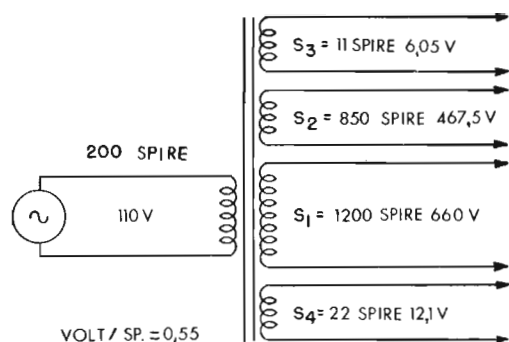



Fig. 8 — Trasformatore con rapporto volt/spira di 0,55. Mediante il citato rapporto, è facile calcolare tutte le tensioni secondarie.

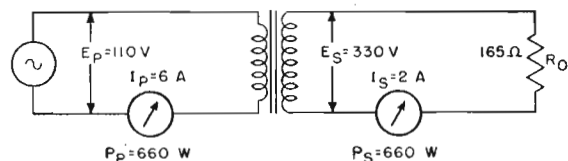



Fig. 9 — Supposto un trasformatore con rapporto spire 3 a 1, se al primario si hanno 110 volt, al secondario si hanno 330 volt. La corrente al secondario (per carico puramente resistivo di 165 ohm) è di 2 ampère; quella al primario è di 2A × 3 (rapporto) = 6 ampère. Perciò la potenza primaria (110 × 6 = 660 watt) è eguale a quella secondaria (330 × 2 = 660 watt).

per cui:

$$E_pI_p = E_sI_s$$

e, trascrivendo:

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{E_s}{E_p}$$

Tuttavia, il rapporto tra la tensione secondaria e quella primaria equivale al rapporto tra le spire, ossia:

$$E_s : E_p = N_s : N_p$$

per cui il rapporto tra la corrente primaria e quella secondaria equivale pure al rapporto tra le spire:

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p}$$

ossia:

$$I_p = I_s \left(\frac{N_s}{N_p}\right)$$

Esaminando la cosa sotto un altro punto di vista, le relazioni tra la corrente ed il numero delle spire possono essere determinate considerando gli ampère per spira del trasformatore a sua volta considerato come un elettromagnete. Nello studio compiuto sull'elettromagnetismo, abbiamo detto che la potenza di un elettromagnete può essere espressa in ampèrspire. Le linee di flusso determinate nel nucleo di un trasformatore da una data corrente, magnetizzante, nel primario sono direttamente proporzionali a N volte I, gli ampère-spire. Sappiamo dalla legge di Lenz che la tensione indotta nel secondario e la corrente che in ogni istante ne deriva, creano delle linee di flusso eguali ed opposte a quelle primarie. Dal momento che tale trasformatore è considerato ideale, l'accoppiamento del flusso è completo, e:

$$N_pI_p = N_sI_s$$

per cui:

$$I_p = N_s$$

e:

$$I_s = N_p$$

ossia:

$$I_p = \frac{I_sN_s}{N_p}$$

Si può osservare allora che la corrente circolante in un trasformatore varia in maniera inversamente proporzionale al numero delle spire. La **figura 9** illustra, ad esempio, un semplice trasformatore d'alimentazione avente 300 spire al primario e 900 al secondario, collegato rispettivamente ad una tensione di linea di 110 volt e ad un carico di 165 ohm. Come possiamo subito vedere, il rapporto tra le spire è 3 a 1, ed E_s equivale a 330 volt. Quindi, dal momento che il carico determina la quantità di energia utilizzata, la corrente nel secondario è:

$$I_s = \frac{E_s}{R_o} = \frac{330}{165} = 2 \text{ ampère}$$

La corrente primaria è:

$$I_p = \frac{I_sN_s}{N_p} = 2 \times 3 = 6 \text{ ampère}$$

In questo caso, il rapporto spire 3 a 1 aumenta la tensione applicata da 110 a 330 volt, riducendo nel medesimo tempo la corrente da 6 a 2 ampère. Da tale constatazione. è facile notare che il prodotto tra la tensione e la corrente relativa ad un avvolgimento di un trasformatore ideale, è eguale al prodotto tra la tensione e la corrente dell'altro avvolgimento. La potenza primaria perciò equivale a 110 volte 6, ossia 660 watt, ed analogamente la potenza secondaria equivale a 330 volte 2, ossia 660 watt.

PERDITE nei TRASFORMATORI - RENDIMENTO

Fino ad ora, abbiamo considerato il caso del trasformatore ideale. Il rendimento di un tale trasformatore ammonta al 100% di efficienza; ciò significa che il rapporto tra la potenza d'uscita e quella di entrata è 1. In pratica, i trasformatori avvolti su nucleo ferroso non possono avere un rendimento del 100%, ma, se progettati con cura, come abbiamo detto, il loro rendimento raggiunge tuttavia valori molto alti, variabili dal 95 al 98%. Questa notevole efficienza è possibile perchè normalmente si presta la massima attenzione onde mantenere al minimo le perdite effettive dovute alla dispersione di flusso, all'isteresi, alle correnti di Foucalt, al flusso di saturazione del nucleo, nonchè alla resistenza del rame dell'avvolgimento ed alla capacità distribuita.

Quando si usa del ferro come nucleo di un trasformatore, detto ferro viene evidentemente sottoposto ad un

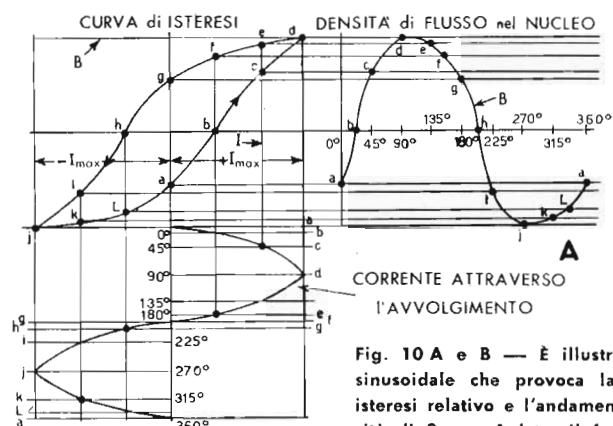



Fig. 10 A e B — È illustrato l'andamento della corrente sinusoidale che provoca la magnetizzazione, il nodo di isteresi relativo e l'andamento o curva risultante della densità di flusso. A lato, il ferro in esame per il quale Ampère/spire = N × I.

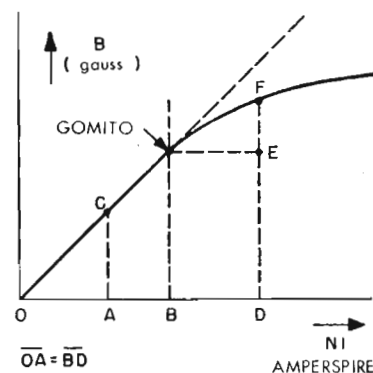
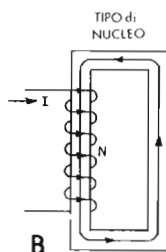



Fig. 11 — Andamento della magnetizzazione. L'aumento di corrente O-A provoca A-C mentre, dopo il gomito, eguale aumento (B-D) provoca solo E-F.

campo magnetico variabile. Il magnetismo prodotto nel metallo dal campo magnetico è in ritardo rispetto alla forza magnetica stessa. Dato che gli atomi del ferro non mutano facilmente la loro posizione — cosa necessaria quando esso viene magnetizzato — per provocare lo spostamento è necessaria una forza magnetica, ed ecco che una parte della corrente applicata viene utilizzata (ed è una perdita) per variare lo stato di magnetizzazione del nucleo. Le perdite di questo genere, dette **perdite di isteresi magnetica,** sono una specie di « frizione magnetica », e, come la frizione meccanica, producono calore. Affinchè l'entità di tali perdite magnetiche (di isteresi) sia minima, si impiega ferro dolce con un'alta percentuale di silicio.

Inoltre, essendo il ferro un buon conduttore, il campo magnetico variabile vi induce delle correnti circolanti. Queste correnti parassite, costituiscono uno spreco di energia in quanto scorrono attraverso la resistenza di ferro producendo calore. Tali correnti vengono parzialmente neutralizzate, sia dividendo il nucleo in sottili lamine dette *lamierini,* i quali vengono isolati uno dall'altro, sia usando nuclei di ferro polverizzato. Il primo sistema viene usato per le basse frequenze, ed il secondo per le alte, fino a 100 MHz.

Le correnti parassite e le perdite per isteresi aumentano rapidamente con l'aumentare della frequenza della corrente; è per questo che i nuclei a lamierini possono essere usati per frequenze fino ad un massimo di 16.000 Hz. Nelle gamme delle radiofrequenze il campo magnetico crolla e si espande molto rapidamente, per cui le perdite in questione diventano eccessive. Per questo motivo i nuclei dei trasformatori per AF sono generalmente ad aria o a speciale polvere di ferro.

Oltre alle perdite per isteresi, i nuclei ferrosi presentano perdite di **saturazione.** Accade che il numero delle linee di forza nel nucleo raggiunga a volte un valore tale che un aumento della corrente non può determinare una ulteriore magnetizzazione, o quanto meno l'accrescersi della magnetizzazione è inferiore a quello che l'incremento della corrente dovrebbe provocare.

Le **figure 10** ed **11** illustrano l'andamento della magnetizzazione nel ferro. La figura 11 non è che un grafico della densità di flusso riferita ad una corrente continua in aumento progressivo. In corrispondenza del gomito di tale curva, l'aumento della densità di flusso cessa di essere lineare, ed un notevole aumento di corrente determina solo un piccolo aumento della densità stessa. Così, mentre per un aumento di corrente da *O* al punto *A*, la densità di flusso sale da *A* a *C*, per un eguale aumento di corrente da *B* a *D*, la densità di flusso sale soltanto da *E* ad *F*. Da ciò si può dedurre che, aumentando la corrente oltre il gomito di saturazione della curva, si ottiene una notevole perdita di rendimento in quanto il medesimo effetto di magnetizzazione potrebbe essere conseguito con un aumento di corrente molto minore se il nucleo non fosse saturato.

Un aumento di superficie della sezione trasversale del nucleo diminuirebbe la densità di flusso per una data corrente, ma aumenterebbero il peso, il costo e le perdite per isteresi del trasformatore. Per questo motivo la maggior parte dei trasformatori costruiti per il funzionamento con la frequenza di rete funzionano *in prossimità* del punto di saturazione della curva del materiale usato come nucleo.

Abbiamo visto che la permeabilità di un nucleo magnetico cade rapidamente allorchè la densità di flusso supera il valore di optimum. In altre parole ciò significa che, non appena il nucleo si satura, il rapporto di *B* ad *H* (ossia tra la densità di flusso e la forza magnetizzante) che definisce la permeabilità, diventa più piccolo. Inoltre, se nell'avvolgimento scorre una certa quantità di corrente continua, come accade spesso nei trasformatori usati in diversi tipi di circuiti elettronici, essa, come corrente polarizzata, magnetizza il nucleo permanentemente in un senso e riduce le variazioni di magnetizzazione possibili, dovute alla corrente alternata. A causa di ciò le « impedenze » con nucleo di ferro (ad eccezione dei reattori cosiddetti a ferro-saturo) e determinati trasformatori pure a nucleo di ferro, sono progettati in modo che nel circuito magnetico esista un piccolo intervallo d'aria, o interruzione detta **traferro.** La riluttanza di quest'ultimo è perciò molto alta (aria) in confronto a quella del ferro, per cui la riluttanza totale del circuito aumenta col risultato, è vero, di una diminuzione di induttanza, ma con una effettiva riduzione del pericolo di saturazione. Tale traferro deve essere realmente molto piccolo e può essere ottenuto montando i lamierini in modo che le estremità coincidano appena, oppure inserendo un sottile strato di carta o di cartoncino in un punto del circuito magnetico. Naturalmente, in questo caso è neces-

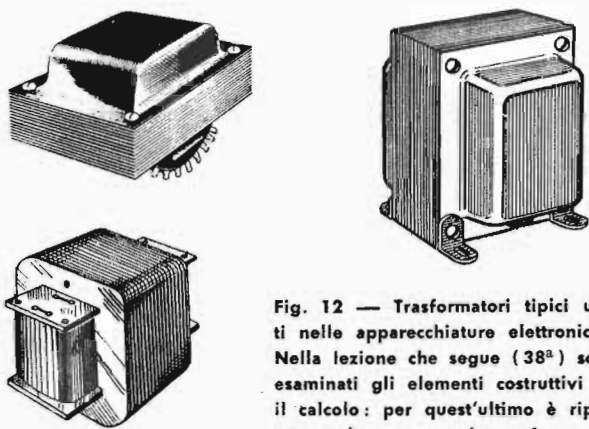



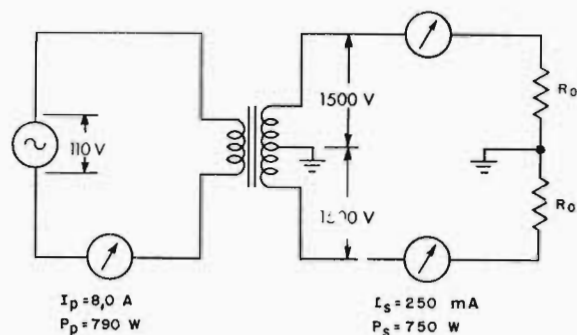
Fig. 12 — Trasformatori tipici usati nelle apparecchiature elettroniche. Nella lezione che segue (38ª) sono esaminati gli elementi costruttivi ed il calcolo: per quest'ultimo è riportato anche un esempio pratico.

Fig. 13 — Trasformatore di media potenza preso ad esempio per il calcolo della potenza primaria considerando il rendimento, e della corrente considerando il fattore di potenza.

sario usare un numero di spire molto maggiore per raggiungere il valore di induttanza che si otterrebbe senza traferro, ma si ottiene il vantaggio di evitare per quanto possibile le perdite per saturazione.

Sia la corrente primaria che quella secondaria devono scorrere attraverso la resistenza ohmica opposta dal conduttore che costituisce l'avvolgimento. Per questo fatto, una certa quantità di potenza effettiva (I^2R) viene dissipata in calore; i trasformatori che funzionano con forti potenze vengono realizzati appunto con conduttori di sezione notevole allo scopo di diminuire tale dissipazione termica, la quale, tra l'altro, abbassa la permeabilità del nucleo ed aumenta la resistenza, aumentando di conseguenza le altre perdite. Tuttavia, poichè un buon accoppiamento induttivo richiede una grande induttanza, è necessario trovare un compromesso tra le dimensioni del nucleo ed il numero delle spire: un grosso nucleo con un piccolo avvolgimento per una data induttanza consentirebbero da un lato un valore basso di perdite nel rame, ma d'altro canto il trasformatore sarebbe pesante ed ingombrante, e le perdite nel nucleo sarebbero notevoli. Il contrario accadrebbe se si usasse un nucleo troppo piccolo: si avrebbero minori perdite nel nucleo, ma perdite maggiori nel rame, dato l'accresciuto numero di spire.

TRASFORMATORI di POTENZA

Si è detto a suo tempo che nel trasferimento dell'energia elettrica a grande distanza si incontrano perdite inevitabili dovute alla resistenza dei conduttori; tali perdite sono proporzionali alla resistenza ed al quadrato della corrente. Ciò significa che, raddoppiando il valore della corrente, le perdite vengono quadruplicate, e che, viceversa, dimezzando la corrente, esse diventano la quarta parte. Risulta evidente che le perdite sono minori quanto minore è la corrente; si ricorre allora, per trasferire l'energia, ad un trasformatore che converte la potenza del generatore in modo tale da avere minima corrente con massima tensione. Nel punto di utilizzazione, un secondo trasformatore funziona in senso inverso e converte l'energia della linea ad alta tensione in tensione più bassa, con forte corrente. Ad esempio, se una potenza di 1000 watt (5 ampère con 200 volt) viene inviata attraverso una linea di 10 ohm, la perdita di potenza è I^2R, ossia 5^2 volte 10, ossia 250 watt. Se si converte tale potenza in modo da avere 0,5 ampère con 2.000 volt, la perdita diminuisce a 2,5 watt con evidente, notevole, vantaggio.

Normalmente, le linee di distribuzione per l'energia elettrica portano tensioni da 10.000 a 300.000 volt: in ogni località esistono cabine di trasformazione, con trasformatori immersi in olio, che convertono tale tensione in quella della rete locale (125 o 220 volt), aumentando l'amperaggio disponibile.

I trasformatori di alimentazione usati negli apparecchi elettronici sono, naturalmente, molto più piccoli di quelli ai quali ci siamo riferiti, pur essendo identico il loro funzionamento. La **figura 12** ne illustra alcuni esemplari. I trasformatori di questo tipo devono funzionare sempre intorno al 90% della portata di carico in quanto, come abbiamo detto, la corrente nel secondario fa sì che tensione e corrente siano in fase, il che riduce l'angolo di fase e approssima il fattore di potenza all'unità. È opportuno ricordare che il fattore di potenza di qualsiasi circuito a c.a. è il coseno dell'angolo di fase, ossia il rapporto tra la potenza effettiva e la potenza apparente, e che è desiderabile contenere la prima entro valori quanto più possibile prossimi alla seconda, allo scopo di evitare la presenza nel circuito di tensioni e correnti eccessive. Ad esempio, qualsiasi trasformatore di alimentazione funzionante con un quinto del suo carico effettivo avrebbe una reattanza induttiva primaria e secondaria considerevoli, per cui le tensioni indotte nei due avvolgimenti sarebbero molto alte con pericolo di scariche e di foratura dell'isolamento, il che porterebbe poi alla bruciatura degli avvolgimenti. A pieno carico invece, la reattanza induttiva del primario viene pressochè eliminata dalla forza magnetizzante opposta determinata dalla corrente secondaria, l'angolo di fase è minimo, e — di conseguenza — il fattore di potenza si approssima all'unità. Qualsiasi reattanza presente costituisce una reattanza di fuga e quindi è una funzione del rendimento del trasformatore. Quest'ultimo, se è ben progettato, ha minima reattanza dispersa e minime perdite, sia nel rame che nel nucleo: è elevato il suo fattore di potenza, vale a dire, il rendimento è massimo. I trasformatori di alimentazione disponibili in commercio hanno un fattore di potenza pari a 0,9 o più, ed un rendimento che si approssima al 95%.

La **figura 13** illustra un trasformatore di potenza. Esso ha un rendimento del 95% ed un fattore di potenza di

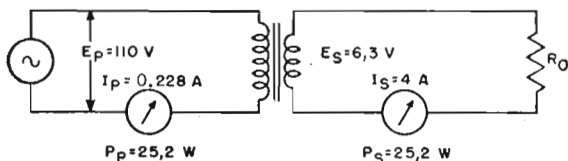



Fig. 14 — Nei trasformatori di piccola potenza, il fattore di rendimento e quello di potenza possono essere trascurati, per cui nell'esempio, i 25,2 watt del secondario sono considerati tali anche al primario; la corrente al primario è ricavata con l'aiuto del rapporto delle tensioni.

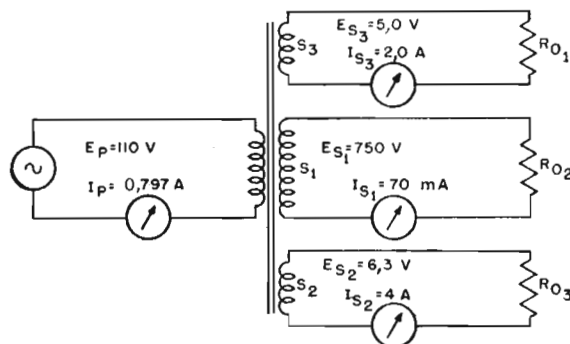



Fig. 15 — In sede di calcolo costruttivo di un trasformatore come quello qui illustrato, tipico degli apparecchi radio, si tiene conto di una differenza tra l'ammontare della potenza primaria e quello della potenza secondaria.

0,9; il secondario eroga 250 mA con 1.500 volt tra il centro ed ognuno degli estremi dell'avvolgimento. La potenza d'uscita è data da:

$$P_s = 3.000 \times 0{,}25 = 750 \text{ watt}$$

Dal momento che il rendimento è il rapporto tra la potenza effettiva di uscita e quella d'entrata, si ha:

$$\text{Efficienza} = \frac{P \text{ media (secondaria)}}{P \text{ media (primaria)}}$$

$$P \text{ media (primaria)} = \frac{P \text{ media (secondaria)}}{\text{Efficienza}} = \frac{750}{0{,}95}$$

$$P \text{ media (primaria)} = 790 \text{ watt}$$

Poichè il fattore di potenza del trasformatore è pari a 0,9, si ha:

$$\frac{P \text{ media}}{P \text{ apparente}} = 0{,}9$$

$$P \text{ apparente} = \frac{P \text{ media}}{0{,}9} = \frac{790}{0{,}9}$$

$$P \text{ apparente} = 877 \text{ watt}$$

Dato che la potenza apparente è sempre eguale a E_p volte I_p, si ha che:

$$I_p = \frac{\text{potenza apparente}}{E \text{ primaria}} = \frac{877}{110}$$

da cui: $I_p = 8$ ampère, circa.

Nei casi in cui sono in gioco piccole potenze, il rendimento ed il fattore di potenza possono essere **trascurati**. La **figura 14** illustra lo schema di **un tipico trasformatore** in discesa che converte la tensione **di rete** di 110 volt in una tensione di 6,3 volt, adatta per la accensione di un certo numero di valvole. Poichè il secondario riduce la tensione applicata a 6,3 volt, il rapporto tra le spire è:

$$N_s : N_p = 6{,}3 : 110 = 1 : 17{,}6 = 0{,}057$$

per cui, se nel circuito secondario scorre una corrente di 4 ampère, la corrente primaria è:

$$I_p = \frac{I_s N_s}{N_p} = 4 \times 0{,}057 = 0{,}228 \text{ ampère}$$

In questo tipo di trasformatore, una corrente primaria bassa determina una corrente relativamente elevata nel secondario, ma con tensione bassa.

La potenza dissipata nel circuito secondario equivale a 6,3 volte 4, ossia 25,2 watt, mentre la potenza dissipata nel primario equivale a 110 volte 0,228, ossia 25,2 watt.

Nel calcolo della potenza totale trasferita da un trasformatore con più avvolgimenti secondari, la potenza del circuito primario equivale alla somma aritmetica delle potenze disponibili nei vari secondari.

La **figura 15** illustra lo schema di un trasformatore tipico, munito di tre secondari e di uso comune nei radio ricevitori. La potenza fornita da S_2 ammonta a 25,2 watt, la potenza di S_3 è 5 volte 2, ossia 10 watt, e quella di S_1 è di 750 volte 0,7, ossia 52,5 watt, per cui la potenza totale è data da:

$$P_s = 25{,}2 + 10 + 52{,}5 = 87{,}7 \text{ watt}$$

e la potenza del primario è pressochè la medesima. Vedremo però, in sede di calcolo costruttivo, una differenza tra queste due potenze, vale a dire tra la potenza secondaria e quella totale primaria.

La corrente primaria è data da:

$$I_p = \frac{P_p}{E_p} = \frac{87{,}7}{110} = 0{,}797 \text{ ampère}$$

La corrente effettiva misurata nel primario è però maggiore del 10% circa, ossia ammonta a 0,876 ampère a causa del fattore di potenza. Quindi, dal momento che la potenza effettiva equivale a $EI \cos \vartheta$ e dal momento che E ammonta a 110 volt, è possibile calcolare rapidamente la potenza effettiva se è nota la corrente primaria ed il fattore di potenza si approssima a 0,9, nel modo seguente:

$$P \text{ media} = I \times E \times \cos \vartheta = I \times 110 \times 0{,}9 = I \times 100 \text{ (circa)}$$

per cui, moltiplicando per 100 la corrente misurata nel primario, si ha una misura approssimativa della potenza effettiva, ossia:

$$P \text{ media} = 0{,}876 \times 100 = 87{,}6 \text{ watt}$$

COSTRUZIONE di TRASFORMATORI di ALIMENTAZIONE

I trasformatori e le impedenze avvolte su nuclei metallici sono componenti fondamentali e di largo impiego nelle apparecchiature elettroniche: tali organi, nei circuiti funzionanti con frequenza di rete o con frequenze acustiche, compaiono quasi sempre.

Il lettore che intende mettere in pratica quanto apprende durante lo svolgimento del presente Corso, troverà particolarmente utile approfondire questo argomento per tre motivi: in primo luogo, in quanto, a volte, è possibile usare un trasformatore per una applicazione pratica le cui caratteristiche differiscono da quelle per le quali il trasformatore stesso è stato costruito. In secondo luogo, perchè accade sovente di dover ricostruire o riavvolgere — interamente o in parte — un trasformatore già disponibile, evitando di acquistarne uno nuovo. In terzo luogo, in quanto un tecnico che abbia approfondito tale argomento è in grado di progettare e realizzare i trasformatori che gli occorrono con un notevole risparmio di denaro.

Ciò che ci proponiamo è quindi di mettere il lettore in grado di progettare e costruire un trasformatore, dopo di che, logicamente, egli sarà anche in grado di effettuare eventuali modifiche o riparazioni.

TRASFORMATORI di ALIMENTAZIONE

Abbiamo visto che, allorchè l'avvolgimento primario di un trasformatore di alimentazione è collegato alla rete di illuminazione, il flusso magnetico variabile prodotto dalla corrente alternata che lo percorre induce nell'avvolgimento secondario una tensione alternata, disponibile ai suoi capi. L'ammontare di detta tensione, presente peraltro ai capi di ogni avvolgimento secondario (qualora essi siano in numero maggiore di uno) abbiamo visto anche che dipende dal numero delle spire avvolte sia nel primario, sia in ogni secondario. In particolare, la tensione indotta è in stretta relazione col rapporto tra il numero delle spire primarie e quello delle spire secondarie. Non sarà male ricapitolare queste nozioni, come premessa alla presente lezione che, trattando di criteri costruttivi, deve necessariamente essere basata sulla teoria esposta.

Supponiamo, ad esempio, che la tensione di rete sia di 100 volt c.a., e che l'avvolgimento primario consti di 100 spire: ciò significa che, per ogni spira primaria, si ha la tensione di 1 volt, ossia 1 spira per volt, o 1 volt per spira. Se tale è il rapporto primario, esso permane anche in ogni secondario, per cui se un secondario di quel trasformatore fornisce una tensione di 300 volt, ciò significa che è costituito da un avvolgimento di 300 spire. È importante notare che detta tensione si riferisce all'avvolgimento secondario con circuito aperto, ossia senza alcun carico che consumi la corrente erogata.

Non appena invece viene applicato un carico, l'ammontare della tensione secondaria diminuisce del 5 o del 10%, a seconda delle caratteristiche del trasformatore.

Matematicamente parlando, il fattore *spire/volt* di un dato trasformatore può essere espresso mediante la formula:

$$\text{N. spire per volt} = \frac{\text{Numero spire dell'avvolgimento}}{\text{Tensione presente ai suoi capi}}$$

I nuclei di materiale ferroso hanno il compito di concentrare il flusso magnetico nelle zone in cui si desidera la maggiore intensità, dove cioè esso è più efficace agli effetti pratici. In altre parole — come abbiamo esposto più volte — essi fanno in modo che tutte le linee di forza presenti contribuiscano ad indurre nel o nei secondari, una tensione alternata allorchè una corrente scorre nel circuito primario. Se non si usasse un nucleo magnetico, la maggior parte del flusso si disperderebbe nell'aria, ed il trasferimento di energia dal primario ai secondari sarebbe troppo basso per giustificare l'impiego pratico di un trasformatore. Inoltre, un trasformatore privo di nucleo — ossia con nucleo « ad aria » — per poter funzionare con la frequenza della rete di alimentazione, dovrebbe avere dimensioni assurde onde essere in grado di fornire una quantità di energia apprezzabile.

Il materiale usato per la realizzazione dei nuclei non ha una struttura solida e compatta, bensì è costituito da strati metallici, detti « lamierini » sovrapposti in quantità tale da raggiungere lo spessore desiderato: sappiamo il perchè. Le perdite dovute alle correnti parassite sono tanto minori quanto più i lamierini sono sottili, il che rende minime le perdite di potenza e lo sviluppo di energia termica; anche quest'ultima costituisce logicamente una dispersione di potenza.

I vari fabbricanti mettono in commercio, a disposizione delle industrie elettroniche, diversi tipi di lamierini, la cui forma e le cui dimensioni sono conformi alle tensioni ed alle potenze normalmente in gioco in tale ramo. Per lo più, i lamierini hanno la forma ben nota detta ad « E » (con « I » di chiusura) oppure la forma ad « M »; la tabella N. 53, a pagina 308, elenca le dimensioni fisiche più comuni. Le varie misure sono distinte dalle dimensioni massime esterne, per cui, un lamierino può es-

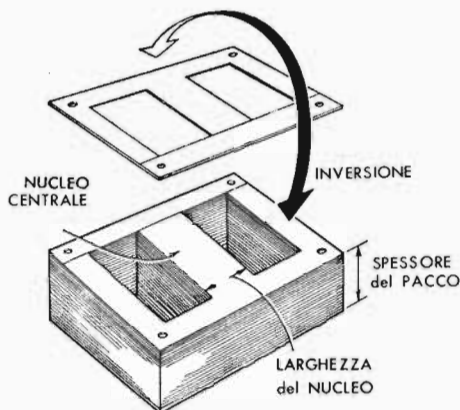



Fig. 1 — Il pacco lamellare del trasformatore viene formato inserendo nel rocchetto o carcassa recante gli avvolgimenti, i lamierini, uno per uno, alternando i pezzi ad « E » con quelli ad « I » di chiusura.

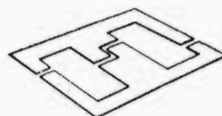



Fig. 2 — Lo stesso risultato di cui alla figura 1 si ottiene con lamierini di questa forma, sempre invertendo il lato dei due diversi pezzi.

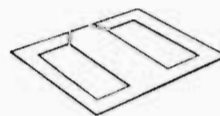



Fig. 3 — Con questo tipo, il pezzo è unico ed il gambo centrale flette: è necessario però, sempre, l'introduzione a senso alterno.

sere individuato come lamierino da 32×38, 37×44, 63×76 oppure 76×80 mm, ecc.

Allorchè detti lamierini vengono inseriti in un avvolgimento per completare il trasformatore, vengono, per così dire, « interlacciati », ossia vengono introdotti uno in un senso ed uno nell'altro, in modo che la lettera « E » sia una volta nel senso giusto ed una volta nel senso inverso, applicando in ogni caso i restanti lamierini ad « I » in modo da chiudere sempre tutti i lati aperti di ciascun lamerino ad « E » (**figura 1**).

Esiste, come si è accennato, un altro tipo comune di lamierino, che elimina la necessità di utilizzare i segmenti ad « I » per il completamento del pacco lamellare. Esso è costituito da lamierini dalla forma di cui alla **figura 2**, asimmetrica, ossia con il gambo centrale di lunghezza diversa; in tal modo, inserendo i due pezzi nell'avvolgimento con l'accorgimento di capovolgerli alternativamente, ogni gamba corta corrisponderà ad una gamba lunga del lamierino successivo, ed il pacco lamellare resterà costituito da strati di spessore costante. Un terzo tipo è, infine, (**figura 3**) quello corrispondente al N. 3 della tabella relativa; esso va inserito flettendo leggermente la parte centrale e, naturalmente introducendolo una volta in un senso e una volta nell'altro.

Il motivo per il quale i lamierini hanno forme di questo genere è del tutto intuitivo; è infatti chiaro che — dal momento che l'avvolgimento viene realizzato a parte, prima di introdurre il nucleo — il nucleo stesso (formato dai lamierini) deve essere interrotto nel suo perimetro per rendere possibile l'introduzione del rocchetto recante gli avvolgimenti.

Esistono altri tipi ed altre forme; su di essi non ci dilunghiamo in quanto il lettore, se avrà occasione di osservarne, constaterà che la differenza può sussistere solo ai fini pratici costruttivi e quasi mai concerne il risultato finale.

Un ESEMPIO di CALCOLO

Nella fase di progetto di un trasformatore di alimentazione entrano in gioco e devono essere determinati cinque fattori principali:

1) La potenza primaria totale.
2) La sezione del nucleo.
3) La sezione del filo di rame.
4) Il numero delle spire di avvolgimento.
5) Le dimensioni dei lamierini.

La potenza

Supponiamo ora di dover costruire un trasformatore (**figura 4**), provvisto di due secondari: uno che debba fornire una tensione di 6,3 volt con una corrente di 3 ampère, ed uno che debba fornire una tensione di 5 volt con una corrente di 2 ampère. La tensione al primario sia di 125 volt: vedremo più avanti le varianti per una diversa tensione primaria.

Calcoleremo dunque — come prima operazione — la potenza. I volt-ampère del primo secondario sono: 6,3 × 3 = 18,9 e quelli del secondo: 5 × 2 = 10. Si hanno quindi 18,9 + 10 = 28,9 volt-ampère che costituiscono la potenza totale d'uscita del trasformatore. A questo punto, è opportuno notare che il dato che ci necessita per la determinazione degli altri elementi, è quello della potenza al primario. Se il trasformatore non presentasse alcuna perdita nello svolgimento della sua funzione, la potenza al primario sarebbe eguale a quella totale dei secondari che già conosciamo, ma ciò non è nella realtà. In pratica quindi, per giungere al valore che ci interessa, si moltiplica il totale dei volt-ampère (VA) secondari per il numero 1,4.

Nel nostro caso: 28,9 × 1,4 = 40,46 volt-ampère al primario.

La sezione del nucleo

Occorre ora determinare la sezione del nucleo. A questo scopo ci si può servire della formula:

$$\text{Sezione netta } (S_n) = 1{,}5 \sqrt{\text{potenza primaria } (P_p)}$$

oppure — se non si vogliono fare calcoli — dell'abaco di cui alla tabella 52 riportata a pagina 307. Sia nell'uno che nell'altro caso troviamo che la sezione a noi necessaria è di 9,6 cm^2.

Noto il valore della sezione, occorre stabilire lo spessore del lamierino da scegliere (si veda la tabella 53 a pagina 308); si potrà poi, con l'aiuto dell'abaco della tabella 52 conoscere la sezione lorda. Adottando un lamierino da 0,35 mm di spessore (più è sottile il lamierino e minori perdite si hanno) avremo, sempre in corrispondenza dei 40,46 volt-ampère — secondo l'indicazione dell'abaco — una sezione lorda di 11 cm^2.

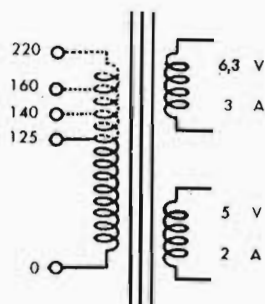



Fig. 4 — Trasformatore di cui viene dato l'esempio di calcolo nel testo. I dati relativi alle tensioni primarie superiori ai 125 volt sono pure esposti, come possibile variante.

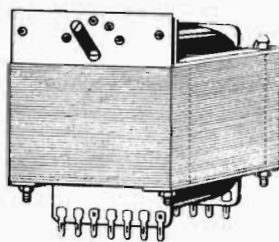



Fig. 5 — Con diverse tensioni previste al primario, si adotta il « cambio-tensioni » che, a volte è montato, come in questa illustrazione, sul trasformatore stesso.

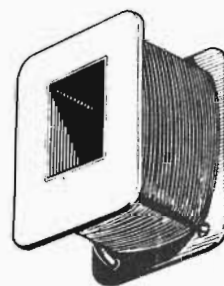



Fig. 6 — Gli avvolgimenti sono effettuati su di un supporto di materiale isolante detto carcassa, che è bene sia munito, ai lati, di due fiancate che contengono il filo e gli impediscono il contatto con i lamierini.

La sezione del filo

La sezione del filo da impiegare per i diversi avvolgimenti è in stretta dipendenza della corrente che in esso deve circolare. La corrente dei secondari ci è nota perchè è uno degli elementi di partenza da noi prefissati: non ci è nota invece quella del primario, ed è necessario perciò accertarla.

Come ben sappiamo la corrente equivale al rapporto tra la potenza e la tensione ($I = P : V$). La potenza al primario del nostro trasformatore è di 40,46 VA: per semplificare i calcoli arrotonderemo a 40,5 VA. La tensione primaria è stata stabilita in 125 volt, per cui la corrente sarà:

$$\frac{VA\ \text{primari}}{\text{tensione primaria}} = \frac{40{,}5}{125} = 0{,}32\ \text{ampère}$$

Ora possiamo determinare la sezione del filo da usare. A seconda dei criteri generali costruttivi (maggiore o minore economia di rame, maggiore o minore riscaldamento del trasformatore) si stabilisce una quantità di corrente in relazione alla sezione del filo. Solitamente si ammettono dai 2,0 ai 3,5 ampère per mm²: consigliamo un valore di 3 ampère per mm² se il trasformatore deve rimanere inserito in modo continuato nei suoi impieghi per alcune ore, un valore di 2,5 ampère per usi prolungati a sette-otto ore e di 2,0 ampère se deve funzionare 24 ore su 24 ore.

Abbiamo preparato per il lettore, nei riguardi del filo di rame, una tabella molto utile (tabella 54 a pagina 309). In essa sono riportati numerosi dati posti in relazione tra loro sì da permettere di conoscere, rapidamente, i molteplici elementi che possono interessare (diametro, peso, spire per cm, resistenza, ecc.). Nella tabella in questione si individuerà quale diametro deve avere il filo in rapporto alla densità di corrente prescelta. Se stabiliamo, ad esempio, 2,5 ampère per cm², apprendiamo che per la nostra corrente di 0,32 ampère occorre un filo da 0,40 mm di diametro.

Analogamente — a mezzo della tabella — troveremo che il filo per il secondario che deve fornire 3 ampère dovrà essere di 1,2 mm e quello per il secondario a 2 ampère, di 1 mm di diametro. Naturalmente è ammessa una certa tolleranza nel valore di corrente o nel diametro, onde avvicinarsi a numeri interi, se necessario.

Facciamo osservare, a questo punto, che assai spesso i trasformatori di alimentazione per apparecchi radio presentano un avvolgimento primario che può essere inserito su tensioni diverse, intervenendo, ben inteso, su di un dispositivo detto « cambio-tensioni ». Quest'ultimo è, in sostanza, un commutatore semifisso, mediante il quale si inserisce, per ogni posizione, un diverso numero di spire (**figura 5**) di modo che risulti un'idoneità con la tensione disponibile. In tal modo, le tensioni al secondario risulteranno sempre le stesse mentre al primario si potranno utilizzare, ad esempio, 110, 125, 140, 160, 220 e, a volte, 280 volt, che sono i valori più correnti di tensione adottati sulle nostre reti di distribuzione. Non avendosi, logicamente, alcuna variazione di potenza dissipata ne consegue che nell'uso con tensione alta (poniamo 220 volt) si avrà nel conduttore primario un minore passaggio di corrente che non nel caso di allacciamento su tensione bassa (110 volt). Dal punto di vista costruttivo dei trasformatori ciò equivale ad un impiego di conduttori a sezione diversa; per meglio dire, dall'inizio dell'avvolgimento (« zero ») a 110 volt sarà adottato un filo di sezione relativa a quella corrente, mentre mano a mano che si passerà (dopo i 110 volt) alle tensioni superiori si potrà impiegare filo di sezione sempre minore con economia di rame e di ingombro. In pratica avviene che, per non accrescere troppo i tipi di filo, si accomunano quelli di tensioni tra loro vicine: così si adotta una sezione, poniamo, da zero a 110 e 125 volt, indi una sezione minore sino a 140 e 160 volt, ed una terza sezione da 160 a 220 volt. Sarà facile al lettore calcolare le diverse sezioni necessarie dopo aver appurato l'ammontare di corrente: basterà ripetere, con i diversi valori, quanto chiarito all'inizio di questo capitolo per stabilire tale corrente e successivamente servirsi della tabella 54 per individuare il conduttore.

Il numero delle spire

Il numero di spire che viene avvolto su di un nucleo è uno dei fattori determinanti la densità del flusso magnetico presente nel nucleo stesso. Il nostro avvolgimento primario determinerà perciò la densità di flusso del trasformatore. Abbiamo già visto che si deve puntare sul raggiungimento della più elevata densità di flusso possibile senza però pervenire alla saturazione del ferro: si è detto anche, a questo proposito, che la maggior parte dei trasformatori costruiti per il funzionamento con la

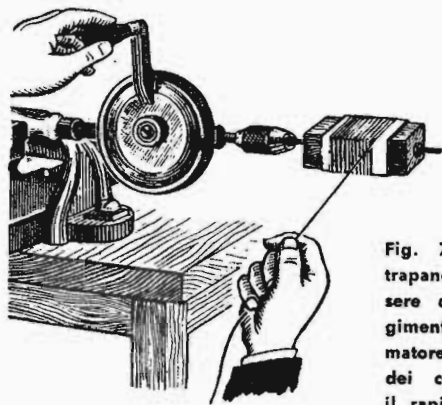



Fig. 7 — Un comune trapano a mano può essere di aiuto nell'avvolgimento di un trasformatore, sia per la posa dei conduttori, sia per il rapido conteggio delle spire.

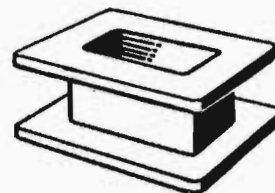



Fig. 8 — A volte, nei trasformatori costruiti da fabbriche specializzate, per i tipi di maggiore impegno vengono adottate carcasse particolarmente robuste e sicure, realizzate in materiale plastico, rigido, stampato.

frequenza di rete funzionano in prossimità del punto di saturazione, e ciò per ragioni di economia di materiale, riduzione di ingombro, ecc.

Un valore di densità di flusso (ricordiamo qui la tabella 31) che può essere preso a base dei nostri calcoli, e che è riferito al materiale costituente il nucleo di questi tipi di trasformatori (ferro-silicio) è quello di 10.000 linee per cm². Inoltre, poichè qui ci occupiamo esclusivamente di trasformatori di alimentazione (i trasformatori per Bassa Frequenza saranno oggetto di una apposita lezione) è sottinteso che la frequenza sarà sempre quella di rete, ossia quella ormai standardizzata di 50 Hertz.

Sarà facile determinare il numero di spire per volt che occorre avvolgere per il primario adottando questa semplice formula:

$$\text{Numero spire/volt primario} = \frac{45}{\text{sezione nucleo}}$$

Precisiamo che il valore della sezione del ferro da adottarsi è quello della sezione netta. Vediamo ora l'applicazione al nostro trasformatore in progetto. Sappiamo che la sezione netta necessaria è di 9,6 cm², per cui:

$$\text{Numero spire/volt primario} = \frac{45}{9{,}6} = 4{,}68 \text{ arrotondato a } 4{,}7$$

Poichè al primario del trasformatore dovranno essere applicati 125 volt (nostra premessa) si avrà:

$$\text{Numero di spire primare} = 4.7 \times 125 = 587$$

Se vogliamo che il nostro trasformatore disponga di un primario che possa essere allacciato anche a reti di tensione diversa, sarà facile stabilire che le spire primarie saranno:

$$4{,}7 \times 140 = 658 \qquad 4{,}7 \times 160 = 752 \qquad 4{,}7 \times 220 = 1034$$

rispettivamente per le tensioni di 140, 160 e 220 volt. In altre parole, un avvolgimento di 1034 spire con presa alla 752ª, 658ª e 587ª spira.

Per quanto riguarda le spire per volt ai secondari, applicheremo invece quest'altra formula:

$$\text{Numero spire/volt secondario} = \frac{48}{\text{sezione nucleo}}$$

che, nel caso pratico, vale:

$$\text{Numero spire/volt secondario} = \frac{48}{9{,}6} = 5$$

Perciò, per il secondario a 6,3 volt, occorreranno 6,3 × 5 = 31,5 spire e per quello a 5 volt, 5 × 5 = 25 spire.

Ci sono noti oramai molti dati d'ordine costruttivo: non ci resta che determinare il tipo di lamierino da impiegare, inteso dal punto di vista delle sue dimensioni del gambo centrale (che costituisce il nucleo) e delle finestre (ove trovano posto gli avvolgimenti). Contemporaneamente, è opportuno farsi un'idea dell'ingombro degli avvolgimenti, perchè è questo il fattore, come vedremo, che condiziona la scelta del tipo di lamierino.

Le dimensioni dei lamierini

Occorre stabilire anzitutto la larghezza della colonna centrale. Poichè, ai fini costruttivi è utile dare al nucleo una sezione quanto più possibile di forma quadrata, adottiamo l'espressione: $\sqrt{S_l}$, vale a dire, radice quadrata della sezione lorda, per trovare la larghezza che ci necessita. Vedremo tra breve come tale dato non venga quasi mai adottato, tuttavia è utile ricavarlo egualmente perchè rappresenta la misura di partenza per la successiva scelta.

Nel nostro caso: $\sqrt{11} = 3{,}3$ cm.

Tra i lamierini in commercio (vedi tabella 53, colonna C) con colonna centrale di valore prossimo a 33 mm, troviamo un tipo 79 × 94 che ha il gambo centrale di 32 mm. Potremmo realizzare il trasformatore con tale tipo di lamierino ma, a cose fatte, ci accorgeremmo che le « finestre ». ossia lo spazio nel quale deve trovare posto l'avvolgimento, risulterebbero male utilizzate: avanzerebbe spazio. Si avrebbe, in sostanza, un trasformatore inutilmente ingombrante. Per evitare ciò, si adotta allora un lamierino con finestre più piccole, ma poichè questo fatto comporta automaticamente una riduzione della larghezza del gambo centrale, occorre — per avere sempre la stessa sezione lorda di 11 cm² — aumentare lo spessore totale, in altre parole, occorre rinunciare (come si e detto sopra) all'idea del nucleo quadrato per adottarne uno rettangolare. In pratica, questa rinuncia avviene quasi sempre, vale a dire che per il nucleo si adottano sempre forme rettangolari; noi abbiamo voluto tuttavia mettere in evidenza che, ove non intervenissero i fattori

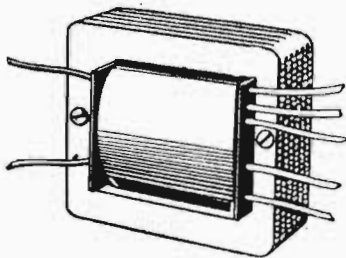



Fig. 9 — Molte volte, allorchè i fili dell'avvolgimento sono di sufficiente diametro, per ragioni di rapidità ed economia costruttiva, vengono sfruttati anche come conduttori per i diversi collegamenti agli altri componenti del circuito. In questo caso sono quasi sempre colorati secondo un codice di colori, di cui riportiamo a pagina 310 due elenchi.

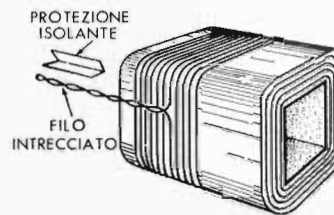



Fig. 9 bis — Per riportare all'esterno i fili di collegamento, o comunque per portarli alle pagliette di ancoraggio, se si tratta di una presa, come è illustrato, si attorcigliano i due capi e si ha cura di isolarli trasversalmente rispetto agli altri fili, con protezione isolante, come indicato.

enunciati, sarebbe preferibile adottare la forma quadrata.

Come si può sapere allora, a priori, quale sia il tipo di lamierino che, per le sue dimensioni, risulta idoneo alla costruzione? È solo con un po' di pratica che si può pervenire ad una abilità di scelta, tale da far identificare subito il tipo di lamierino più adatto, conciliante le sue dimensioni con le necessità di avvolgimento. Fortunatamente, questo « colpo d'occhio » si acquista facilmente dopo la costruzione di pochi esemplari: esso consiste, in sostanza, nel saper valutare lo spazio, o meglio, il volume che conduttori e isolamento occuperanno, per giudicare se potranno essere alloggiati nelle « finestre ».

È evidente da quanto sopra che chi non è ancora padrone di una tale tecnica valutativa deve procedere a calcoli preventivi per non incontrare spiacevoli sorprese a lavoro pressochè terminato. Tali calcoli — che quì di seguito indichiamo — verteranno sul controllo del volume d'avvolgimento, partendo dal presupposto impiego di un dato lamierino.

Già abbiamo indicato un dato di partenza, vale a dire la misura dedotta dalla radice quadrata della sezione lorda (sul nostro caso = 33 mm); avendo presente tale dato, consigliamo di scegliere un tipo di lamierino con misura della colonna centrale pari ad un 20% circa, in meno. Così prenderemo in esame i lamierini a colonna centrale di 25 mm (Tabella 53), ovviamente con misure di ingombro esterno inferiori a quelle del tipo da 33 mm. Se si presenta più di un tipo a disposizione è opportuno dare la prevalenza a quello che non si discosta eccessivamente dall'ingombro esterno del tipo di partenza di cui abbiamo detto (cm 79 × 94). Così, sempre per rimanere nel nostro esempio, fisseremo la nostra attenzione sul modello cm 76 × 80, scartando il cm 63 × 76.

Dato che occorre formare 11 cm² di sezione e che il lamierino prescelto ha la colonna di 2,5 cm, occorrerà formare, con i lamierini sovrapposti, un'altezza del pacco di cm 11 : 2,5 = 4,4 centimetri.

Ora dobbiamo verificare se i necessari avvolgimenti potranno essere contenuti nelle finestre che sono, nel caso specifico, di cm 52 × 16 (Tabella 53).

Ciò che deve essere alloggiato nel citato spazio non è solo il filo di rame. Tra uno strato di filo e l'altro si inseriscono, spesso, strati di carta paraffinata; tra il primario ed i secondari, e tra i secondari stessi, si interpongono strati di leggero cartoncino o nastro isolante apposito, o tela imbevuta di sostanze speciali. L'inizio e la fine di ciascun avvolgimento devono far capo all'esterno per cui si avrà un conduttore trasversale, ben isolato e fermato con fettuccia, da tenere presente nell'assieme dell'ingombro.

Infine, si avrà la carcassa di cui si è altrove parlato, che porterà via una quota notevole dello spazio a disposizione nelle finestre. Tutti questi fattori vanno tenuti in debito conto.

Se la finestra è lunga 52 mm e la carcassa adottata è del tipo — come è consigliabile sia — con fiancate (**figura** 6), avremo, utili per il filo, 52 mm meno lo spessore delle due fiancate: possiamo dire mm 48 utili.

Prendiamo in considerazione l'avvolgimento del primario. Sappiamo che occorrono 587 spire di filo da 0,40 mm. La nostra preziosa tabella 54 ci informa che su 1 cm lineare trovano posto 20 spire di tale filo: abbiamo 4,8 cm utili alla finestra per cui:

$$4{,}8 \times 20 = 96 \text{ spire per uno strato}$$

Essendo 587 le spire, saranno necessari 6 strati interi ed uno parziale per residue 11 spire. In pratica, poichè mano a mano che gli strati si sovrappongono qualche spira viene diminuita dal numero delle possibili per strato, possiamo considerare 7 strati interi.

Consideriamo parallelamente il caso del primario a diverse tensioni. La prima tra le tensioni ulteriori previste (140 volt) comporta, come abbiamo visto, 658 spire (71 spire in più delle 587). La sezione del filo relativo può essere però leggermente inferiore a quella necessaria per i 125 volt: successivamente, aggiungendo 94 spire perverremo ai 160 volt ed infine con altre 282 spire, ai 220 volt. Le spire aggiunte tra una tensione e l'altra presenteranno filo di sezione minore. Si può conoscere la sezione di tale filo con l'impiego della tabella 54, cosí come abbiamo fatto nei riguardi della tensione di 125 volt: divideremo prima la potenza primaria (40,5) per le singole tensioni, ottenendo 0,29 - 0,25 - 0,18 ampère e, in base a dette correnti, relative ai 140 - 160 - 220 volt, la tabella ci dirà che occorre filo di 0,38 - 0,35 - 0,30 mm rispettivamente (2,5 ampère per cm²).

Perciò, in caso di primario cosiddetto universale, avremo ancora:

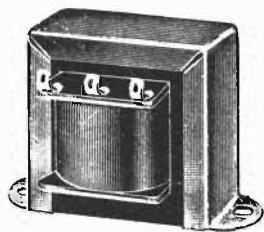



Fig. 10 — Quando il filo di avvolgimento è sottile, come nei piccoli trasformatori di Bassa Frequenza, si preferisce sempre ancorarlo a pagliette fissate su di un fianco della carcassa.

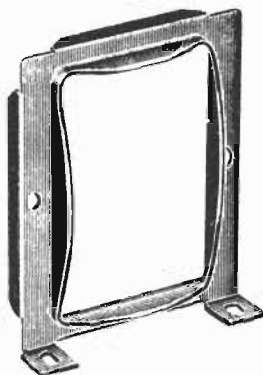



Fig. 11 — Tipico serrapacco per montaggio verticale. La nervatura lo rende particolarmente robusto: va accoppiato ad altro elemento eguale.

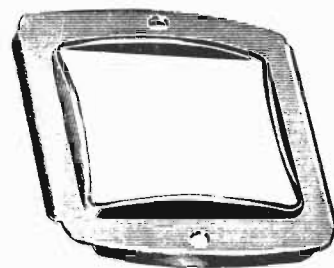



Fig. 12 — Tipico serrapacco per montaggio orizzontale. Assai spesso ne viene usato uno solo in quanto il trasformatore appoggia, dall'altro lato, sulla lamiera dello chassis.

1 strato ... (spire 71) ... di filo da 0,38 mm, più

1 strato ... (spire 94) ... di filo da 0,35 mm, più

2 strati ... (spire 282) ... di filo da 0,30 mm.

Uno dei secondari necessita di 31,5 spire di filo da 1,2 mm. La tabella 54 indica che in 1 cm si possono affiancare 7,5 spire: sulla lunghezza di 4,8 cm potremo collocare comodamente, in un solo strato, l'intero secondario. Analogamente, per l'altro secondario avremo 1 solo strato, dato che occorrono solo 25 spire di filo da 1 mm di diametro.

I sette strati di filo da 0,40 occuperanno in altezza, grosso modo, 3,5 mm (qui ci è utile ancora la tabella 54, sempre nella sua terza colonna) ai quali vanno sommati 1,2 mm ed 1 mm rispettivamente per i secondari: totale = 5,7 mm circa. Ciò per il solo filo. Dobbiamo ora aggiungere 1,5 mm di spessore del nucleo della carcassa nonchè lo spessore degli strati di carta e cartoncino; questi ultimi possono essere valutati, con approssimazione, a 2,5 mm (si veda in proposito la tabella 55) (sei o sette strati di carta e due o tre di cartone e cartoncino): in totale avremo perciò 5,7+1,5+2,5 = 9,7 che, arrotondando ancora, saranno 10 mm. Poichè la finestra del lamierino prescelto è alta 16 mm, il trasformatore potrà essere comodamente realizzato, pur dovendosi prestare sempre, in ogni caso, la necessaria attenzione a che gli avvolgimenti siano ben stretti, vale a dire ben tesi all'atto del collocamento, sia del filo che degli strati isolanti.

Nel caso di primario universale, i diversi strati necessari in più comportano (calcolo con la tabella 54) uno spessore di 2,5 mm circa (ivi compresa la carta di isolamento) per cui anche essi potranno essere contenuti nella finestra del lamierino prescelto (spessore totale dell'avvolgimento 12,5 mm).

La REALIZZAZIONE

Sebbene la costruzione di trasformatori sia operazione non troppo difficile, si presenta in ogni modo al radiotecnico un importante problema: quello delle operazioni di avvolgimento. Il trasformatore che abbiamo preso ad esempio è piuttosto piccolo: in genere i trasformatori di alimentazione comportano quell'avvolgimento primario a prese multiple di cui si è detto, vale a dire adatto alle diverse tensioni di rete (ad esempio, 110 - 125 - 140 - 160 - 220 volt) ed oltre ai secondari a bassa tensione, anche un secondario ad alta tensione. È evidente che il numero di spire è allora assai più elevato di quello relativo al nostro esempio che, purtuttavia ci impegna già ad avvolgere quasi 600 spire per il solo primario. Questa difficoltà può essere risolta solamente eseguendo gli avvolgimenti a mezzo di una apposita avvolgitrice con la quale naturalmente si ottiene anche il vantaggio di una esecuzione a regola d'arte del lavoro. Tuttavia, saranno solo le considerazioni economiche dei singoli casi che decideranno se la spesa per l'acquisto di una tale macchina è giustificata dal suo più o meno frequente impiego. Vogliamo ricordare, incidentalmente, che un aiuto — dovendosi costruire uno o due trasformatori solamente — può essere dato da una soluzione di ripiego consistente nel fissare la carcassa su di un parallelepipedo di legno (cosa del resto necessaria quasi sempre anche con le avvolgitrici) e nel predisporre poi il legno in maniera solidale con una lunga vite, ad esempio, passante per il suo centro, stretta nel mandrino di un comune trapano (**figura 7**). Ruotando la manopola del trapano, anche il legno e la carcassa ruoteranno velocemente e si potrà eseguire la posa del filo, avendo sempre cura di avvolgerlo tendendolo ben teso. Il rapporto del meccanismo del trapano agevola queste operazioni: se si avrà l'avvertenza di accertare tale rapporto, si potrà anche sapere a priori quanti giri della manopola saranno necessari per l'intero avvolgimento agevolando così l'operazione nel caso l'avvolgimento sia di elevato numero di spire.

Scelto il tipo di lamierino sulla scorta del progetto e del controllo che si è visto, occorre predisporre la carcassa. Quest'ultima, o è costituita da una semplice striscia di cartone, della larghezza della finestra, piegata in quattro parti in modo da costituire un tubo a sezione quadrata o rettangolare o è, oltre che a tubo, a fiancate riportate ai due lati (figura 6); qualche volta è addirittura — nei trasformatori realizzati da fabbriche — in un solo pezzo di materiale plastico stampato (**figura 8**). La sua funzione è evidente: supportare tutti gli avvolgimenti, isolare gli stessi dal ferro, e ricevere all'interno il nucleo centrale del trasformatore che costituisce la sezione. Abbiamo già anche detto del debito conto in cui va tenuto il suo spessore (e lo spessore delle fiancate, che sono sempre consigliabili) ai fini dello spazio utile.

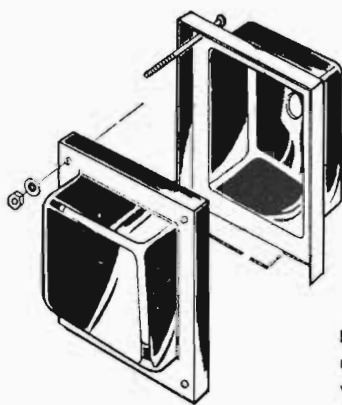



Fig. 13 — Le calotte conferiscono al trasformatore migliore estetica, protezione degli avvolgimenti e schermatura. Molto spesso sono assai rigide sì da fungere contemporaneamente anche da serrapacco.

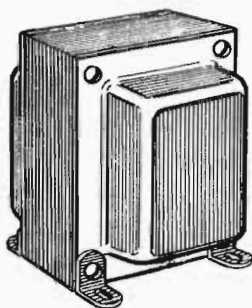



Fig. 14 — Nel caso di montaggio orizzontale del trasformatore si può adottare, così come si è visto per il serrapacco, un'unica calotta. Anche qui la calotta elimina spesso il serrapacco e protegge l'avvolgimento.

L'ordine col quale gli avvolgimenti vanno eseguiti non è determinante. Il lettore sa che per il principio stesso di funzionamento del trasformatore, è indifferente, ad esempio, se il primario è avvolto, sopra, sotto o addirittura tra due secondari. Tuttavia, quasi sempre si avvolge anzitutto il primario (specialmente quando presenta numerosi collegamenti esterni), indi il secondario ad alta tensione e, per ultimi, i secondari a tensione più bassa e solitamente a corrente più elevata (filo grosso). Si tenga presente, in proposito, che mano a mano che gli strati avvolti crescono di numero, la spira aumenta di lunghezza, per cui è preferibile (anche per questioni di riduzione di costo del filo totale da impiegare) che gli avvolgimenti richiedenti molte spire di filo sottile siano i primi, vale a dire a spira più corta perchè più vicina al nucleo.

In casi particolari, allorchè si ha un secondario a elevato numero di spire ed a presa centrale, al fine di non pervenire — data la diversa lunghezza delle spire iniziali e finali — a due sezioni diverse tra loro nella resistenza ohmica (vale a dire poco simmetriche) si avvolge l'una arrivando solo a metà lunghezza della finestra, e l'altra, successivamente, affiancata, sull'altra metà. Vedremo in altra lezione — quando tratteremo dei trasformatori per audiofrequenza — quando sia necessario ciò per molteplici motivi. Per quel che si riferisce alla pratica attuazione dei trasformatori di alimentazione l'accorgimento citato è eccezionale.

A seconda che il trasformatore da costruire debba essere del tipo da fissare verticalmente o orizzontalmente, si adotta l'appropriato sistema d'uscita dei fili di collegamento col circuito esterno. Inoltre, la citata differenziazione impone anche la scelta del lato d'uscita dei conduttori stessi. I fili di avvolgimento (capo di inizio e di fine), se di sufficiente sezione, possono essi stessi — lasciati in spezzoni di opportuna lunghezza — costituire i conduttori di collegamento esterno (**figura 9**). I fili più sottili vanno fermati ed ancorati (ad esempio mediante pagliette sulle fiancate della carcassa - **figura 10**) onde permettere o il collegamento esterno sino a tale punto o il successivo prolungamento con un conduttore di più elevata sezione: a volte anche questo secondo conduttore è già presente nei trasformatori del commercio e richiamiamo in proposito la pagina 310 che riporta due codici di individuazione.

Non vogliamo ulteriormente dilungarci nel riferire particolari costruttivi che, per essere bene compresi, è pur sempre necessario osservare in pratica. Consigliamo senz'altro a chi volesse in qualche modo occuparsi della realizzazione dei trasformatori, l'esame analitico di qualche esemplare fuori uso da smontare: non sarà difficile trovarne presso qualsiasi radioriparatore.

Dobbiamo fare cenno ora a due accessori di notevole utilità: il *serrapacco* e le *calotte*. Il serrapacco — **figura 11** — come dice il suo nome, serve a stringere il pacco lamellare a lavoro finito: esso è indispensabile in quanto che, se il pacco non risultasse ben stretto — vale a dire i lamierini non sufficientemente pressati tra loro — si avrebbero noiose vibrazioni dei lamierini stessi. Il serrapacco ha quasi sempre la forma del lamierino completo è di una certa robustezza e rigidità e tante volte è un pezzo metallico di fusione. È dotato di sporgenze e fori necessari per il passaggio di viti tiranti, sì da serrare a dovere il trasformatore. A volte, quando il trasformatore viene montato orizzontalmente sullo chassis e sporge con metà avvolgimento all'interno dell'apparecchio (è necessaria una grande finestra nel telaio) è sufficiente un solo serrapacco, quello superiore (**figura 12**), dato che al di sotto è lo chassis stesso che contribuisce con la sua rigidità alla funzione.

Le calotte (**figura 13**) non sono indispensabili, ma sono tuttavia spesso adottate per ragioni di estetica, sicurezza e praticità del trasformatore, come organo a sè stante. Se sufficientemente rigide, possono fungere contemporaneamente anche da serrapacco: per i trasformatori da collocare in senso orizzontale, così come avviene per il serrapacco, è sufficiente una sola calotta (**figura 14**).

Si abbia cura che le viti tiranti, alle quali si è fatto cenno, risultino isolate dal pacco lamellare, in particolare allorchè, come avviene per alcuni tipi di lamierini, negli stessi è previsto un foro per il loro passaggio. È facile provvedere in tal senso predisponendo all'interno del foro un pezzetto di tubetto « sterling » di diametro adeguato, alto quanto tutto il pacco dei lamierini. L'isolamento tra strato e strato, tra gli avvolgimenti ed il ferro, tra primario e secondari e tra i secondari stessi, va molto curato, in particolare quando si sa che nel circuito esisteranno notevoli differenze di potenziale. Si abbondi sempre nell'impiego degli strati di carta e cartoncino; si osservino i passaggi dei fili di entrata e d'uscita, i loro eventuali incroci e i punti di unione con saldature: si adotti nastro isolante e tubetto « sterling » con generosità. Si può anche, se si vuole un assieme ben compatto, fasciare tutto

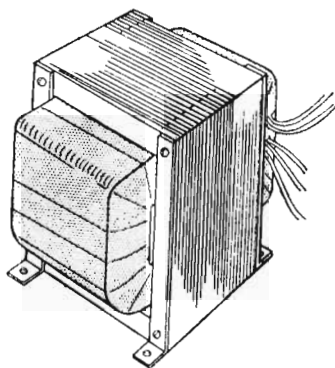



Fig. 15 — Se non si adottano calotte e si vuole una protezione, si possono fasciare gli avvolgimenti con nastro, prima dell'introduzione dei lamierini.

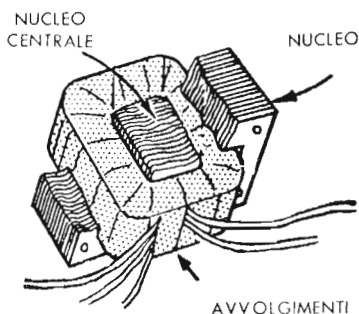



Fig. 16 — I lamierini devono essere infilati nella bobina (in questo caso è assente la carcassa) nel maggior numero possibile. Il nucleo è mostrato sezionato.

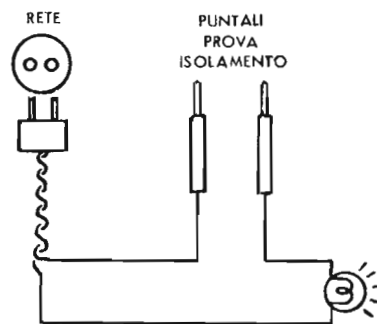



Fig. 17 — Con due puntali così predisposti si possono eseguire alcune prove di isolamento del trasformatore che, sebbene assai modeste, sono tuttavia utili e precauzionali.

l'avvolgimento con un nastro di cotone (**figura 15**).

Terminati gli avvolgimenti è necessario inserire i lamierini, uno ad uno in quanto — come già si è detto — se ad « E » (con listello ad « I » per la chiusura del circuito magnetico), vanno posti singolarmente, alternativamente in un senso e in senso opposto. È questa un'operazione banale, nell'eseguire la quale non va mai dimenticato tuttavia, che è facile deteriorare qualche conduttore con conseguenze rovinose. Infine, si constaterà che l'inserimento degli ultimi esemplari è alquanto difficoltoso perchè occorre contemporaneamente premere con forza il pacco già esistente ed infilare altri lamierini, dato che è bene inserirne il più possibile (**figura 16**).

L'inserimento dei lamierini è praticamente l'ultima operazione costruttiva, salvo l'applicazione dei serrapacco o delle calotte-serrapacco. In realtà può esservi un'ulteriore fase ma ciò avviene solo in alcuni casi: intendiamo riferirci all'impregnazione di paraffina o a quella di « compound ». Si tratta di immergere — dopo averlo portato per circa 30 minuti a 150° C in forno — il trasformatore in un bagno impregnante in modo che successivamente estratto ed essiccato tutto l'assieme risulti molto rigido, compatto e isolato. Questa tecnica, ripetiamo, specialmene riferita all'uso del « compound », è eseguita solo per certi trasformatori, per i quali le condizioni di impiego soprattutto, richiedono precauzioni particolari nella rigidità e nell'isolamento: essa ha il difetto di essere costosa, di ostacolare in modo rilevante le eventuali riparazioni e spesso di impedire addirittura il ricupero del materiale. Il progresso tecnologico conseguito in questi ultimi anni nella fabbricazione dei fili di rame smaltato in relazione all'impiego di vernici o di sistemi isolanti molto più sicuri di una volta e molto più resistenti, ha contribuito a rendere sempre più eccezionale il ricorso all'impregnazione. Aggiungeremo che i dilettanti, o anche i radioriparatori, difficilmente possono attrezzarsi a dovere per eseguire tale operazione per cui i trasformatori eventualmente da essi realizzati si intenderanno sempre del tipo libero, terminato cioè con l'applicazione delle calotte.

A costruzione terminata sarà prudenziale, prima dell'allacciamento alla tensione, una sia pur sommaria prova dell'isolamento. Una verifica con l'ohmetro non può dirsi certamente tale ma, purtuttavia, in mancanza di altri mezzi è consigliabile egualmente per accertare almeno la presenza di eventuali indesiderati cortocircuiti. La lettura dell'ohmetro non può essere una vera prova dell'isolamento perchè pone in gioco la sola tensione dello strumento stesso: un sistema migliore — se ci si vuole attrezzare in maniera economica per tale operazione — è il seguente.

Si predisponga una lampadina secondo il montaggio illustrato alla **figura 17**. Con un puntale (attenzione a non toccare con le mani alcuna parte metallica...) si farà contatto sul pacco lamellare e si porterà l'altro in contatto con i diversi capi di tutti gli avvolgimenti, che dovranno risultare tutti isolati (lampadina spenta). L'accensione completa della lampada significherà cortocircuito: un'accensione ridotta indicherà anch'essa un cortocircuito, seppure con interposta resistenza. Entrambe le constatazioni implicano la necessità di rivedere il lavoro eseguito per rintracciare la causa dell'inconveniente e porvi rimedio, se possibile. Identica prova deve essere eseguita oltre che tra ferro e rame, tra i diversi avvolgimenti che lo schema del trasformatore prevede isolati tra loro. Quanto brevemente esposto ai fini della verifica di isolamento è sempre in realtà un modesto controllo: si consideri che nei laboratori appositamente attrezzati le prove analoghe vengono eseguite con tensioni pari a circa dieci volte la tensione massima fornita dal trasformatore.

A isolamento controllato si potrà passare alla verifica delle tensioni.

La verifica di un trasformatore dopo la sua costruzione è operazione alquanto facile. Sono ben noti i valori di funzionamento per cui basterà, per un trasformatore di alimentazione, collegare i due capi del primario alla rete, ben inteso con coincidenza di tensione. Se il trasformatore avrà al primario prese diverse si potrà controllare l'esattezza del loro calcolo, leggendo tra lo « zero » e le singole prese — con un voltmetro predisposto su c.a. — le diverse tensioni che dovranno coincidere con quelle del progetto. Analogo controllo si farà poi nei riguardi del secondario o dei secondari, misurando ai loro capi la tensione fornita: qui però non ci si meravigli di una lettura di tensioni un po' più alte di quelle necessarie. Ciò dipende dal fatto che il controllo viene eseguito, come si dice, a « vuoto », ossia senza carico al trasformatore: nell'impiego normale le tensioni scenderanno ai valori richiesti e naturalmente anche in tali condizioni sarà fatto, successivamente, un controllo.

SIMBOLI - ABBREVIAZIONI

A/sp = Amperspire
$\cos \vartheta$ = Fattore di potenza
E_p = Tensione primaria
E_s = Tensione secondaria
I_p = Corrente primaria
I_s = Corrente secondaria
N_p = Numero spire primarie
N_s = Numero spire secondarie
P_{app} = Potenza apparente
P_m = Potenza media
P_p = Potenza primaria
P_s = Potenza secondaria
R_o = Resistenza ohmica del carico
S_l = Sezione lorda del nucleo
S_n = Sezione netta del nucleo
Sp/V = Spire per volt
VA = Voltampère
V/Sp = Volt per spira

FORMULE

Diametro del conduttore:

Per 2 ampère/millimetro quadrato
$\varnothing = 0{,}8\sqrt{I}$

Per 2,5 ampère/millimetro quadrato
$\varnothing = 0{,}7\sqrt{I}$

Per 3 ampère/millimetro quadrato
$\varnothing = 0{,}65\sqrt{I}$

$e = -N\,(d\varnothing : dt)$
$E_p = E_s N_p : N_s$
$E_s = E_p N_s : N_p$
$I_p = I_s N_s : N_p$
$I_p = P_p : E_p$
$I_s = E_s : R_o$
$I_s = P_s : E_s$
$P_m = I \times E \times \cos \vartheta$
$P_p = E_p I_p$
$P_s = E_s I_s$
$S_n = 1{,}5\sqrt{P_p}$
$S_l = S_n + 10\%$ (con lamier. da 0,35 mm)
$S_l = S_n + 15\%$ (con lamier. da 0,50 mm)

$$Sp/V = \frac{\text{Numero spire dell'avvolgimento}}{\text{Tensione presente ai suoi capi}}$$

Sp/V primarie = $45 : S_n$
Sp/V secondarie = $48 : S_n$
V/Sp = $E_p : N_p$

DOMANDE sulle LEZIONI 37ª e 38ª

N. 1 —
Quale è il compito di un trasformatore?

N. 2 —
È possibile, mediante un trasformatore, suddividere una quantità di potenza dissipata in un circuito, e distribuirla in vari circuiti tra loro indipendenti?

N. 3 —
Quali sono le parti principali di un trasformatore?

N. 4 —
Quali sono i compiti del « primario » e del « secondario »?

N. 5 —
Che relazione sussiste tra il rapporto tra le tensioni primaria e secondaria ed il rapporto tra il numero delle spire primarie e secondarie?

N. 6 —
In quanti modi può essere impiegato un trasformatore?

N. 7 —
Per quale motivo non è possibile ottenere nel secondario di un trasformatore una potenza assolutamente identica a quella dissipata nel circuito primario?

N. 8 —
Per quale motivo il nucleo di un trasformatore è realizzato con lamierini isolati tra loro invece che in un unico blocco?

N. 9 —
Un dato trasformatore consta di 2.000 spire primarie e di 1.500 spire secondarie. Se si applica al primario una tensione di 150 volt, quale tensione appare ai capi del secondario?

N. 10 —
Esiste una differenza tra le tensioni secondarie a vuoto, e quelle che sussistono col carico applicato?

N. 11 —
Per quale motivo i lamierini di un trasformatore vengono inseriti uno in un senso ed uno in un altro?

N. 12 —
Può un trasformatore essere caratterizzato da più di un fattore « spire per volt »?

N. 13 —
Quale relazione sussiste tra la corrente ed il numero della spire di ogni singolo avvolgimento?

N. 14 —
Cosa si intende per « rendimento » di un trasformatore?

N. 15 —
Quali sono le cause che determinano le perdite in un trasformatore?

N. 16 —
Per quale motivo, in un avvolgimento ai capi del quale esiste una notevole differenza di potenziale, è indispensabile isolare tra loro gli strati di spire?

RISPOSTE alle DOMANDE di Pag. 281

N. 1 — Esse sono sempre sfasate di 90° in entrambi i tipi di circuiti, con la differenza che gli sfasamenti sono in senso opposto.

N. 2 — Quelle presenti ai capi degli elementi reattivi sono sempre sfasate reciprocamente di 180°, e possono essere sottratte direttamente.

N. 3 — In questo caso il circuito si comporta come se fosse esclusivamente resistivo, per cui la corrente è in fase con la tensione applicata.

N. 4 — In tali condizioni il circuito è in risonanza con la frequenza della tensione alternata applicata. La corrente è massima se il circuito è in serie, e minima se è in parallelo.

N. 5 — Esse sono reciprocamente sfasate di 180°.

N. 6 — Le correnti dei due rami sono eguali ma di segno contrario, per cui si elidono a vicenda. La corrente di linea tende pertanto a zero e l'impedenza tende verso un valore infinito.

N. 7 — No. Essa ha anche anse negative.

N. 8 — Per « potenza apparente » si intende il prodotto tra i valori di tensione e corrente. $P_{app} = E \times I$.

N. 9 — $P_{med} = I^2R$ oppure $P_{med} = E \times I \times \cos \vartheta$

N. 10 — La potenza viene effettivamente dissipata dalla sola resistenza ohmica, in quanto le resistenze reattive, ossia la reattanza capacitiva ed induttiva, non dissipano energia. Infatti, sia un condensatore che una bobina possono immagazzinare una certa quantità di energia e restituirla con minime perdite non appena la sorgente viene a mancare.

N. 11 — La tensione applicata e la resistenza del circuito.

N. 12 — Si comporta come se al suo posto fosse collegata la sola capacità.

N. 13 — Il valore di 405 microhenry.

N. 14 — La frequenza di risonanza diminuisce.

N. 15 — Le tensioni presenti ai capi di entrambi i componenti sono molto elevate, in quanto l'intensità della corrente è la massima possibile, ed è limitata dalla sola resistenza ohmica dell'intero circuito.

N. 16 — Si comporta come se al suo posto fosse collegata una semplice induttanza.

N. 17 — Deve essere collegato in serie, in quanto l'impedenza di un circuito risonante in parallelo è massima nei confronti della frequenza di risonanza. La massima impedenza determina quindi la massima caduta di tensione relativa alle sole frequenze da eliminare.

N. 18 — È del tipo « passa basso ». Esso viene infatti collegato in parallelo alla tensione, nel qual caso tende a comportarsi — nei suoi confronti — come un corto circuito.

TABELLA 51 — CORRISPONDENZA tra la NUMERAZIONE AMERICANA « B & S » per i CONDUTTORI e i DIAMETRI in MILLIMETRI

Numerazione B & S	Diametro mm	Numerazione B & S	Diametro mm
0000	11,684	24	0,510
000	10,405	25	0,455
00	9,266	26	0,405
0	8,254	27	0,360
1	7,348	28	0,321
2	6,544	29	0,286
3	5,827	30	0,255
4	5,189	31	0,227
5	4,621	32	0,202
6	4,115	33	0,180
7	3,665	34	0,160
8	3,264	35	0,143
9	2,906	36	0,127
10	2,588	37	0,113
11	2,305	38	0,100
12	2,053	39	0,090
13	1,829	40	0,080
14	1,628	41	0,071
15	1,450	42	0,063
16	1,291	43	0,056
17	1,150	44	0,050
18	1,024	45	0,045
19	0,899	46	0,040
20	0,812	47	0,035
21	0,723	48	0,032
22	0,644	49	0,028
23	0,573	50	0,025

La tabella 51 è di grande utilità per coloro che hanno o avranno spesso occasione di consultare testi o riviste americane. In America — infatti — i conduttori vengono classificati come in Italia in rapporto al loro diametro, con la differenza però che esso non è espresso direttamente in millimetri o pollici, bensì seconda una numerazione convenzionale appositamente stabilita.

Mediante la citata tabella è quindi possibile trasformare detta numerazione in indicazioni pratiche, in quanto, a fianco di ogni numero del codice « B & S », è riportato il diametro in millimetri ad esso più prossimo. Naturalmente, a causa della discordanza dovuta alle cifre decimali, la conversione è approssimata, tuttavia la precisione è soddisfacente.

Ad esempio, se un avvolgimento deve essere effettuato con filo « N. 32 », corrispondente al diametro di 0,202 mm, si potrà tranquillamente usare del filo da 0,20 mm. Dal momento che la sezione del conduttore è calcolata in base ad una portata stabilita in ampère per millimetro quadrato, la differenza risultante non è tale da compromettere l'esito della realizzazione.

La tabella 52 è un grafico che consente il calcolo rapido della sezione del nucleo (netta e lorda) di un trasformatore, in base alla potenza. L'uso è molto semplice. Il

TABELLA 52 — GRAFICO per il CALCOLO RAPIDO della SEZIONE NETTA e LORDA del NUCLEO di un TRASFORMATORE, in FUNZIONE della POTENZA

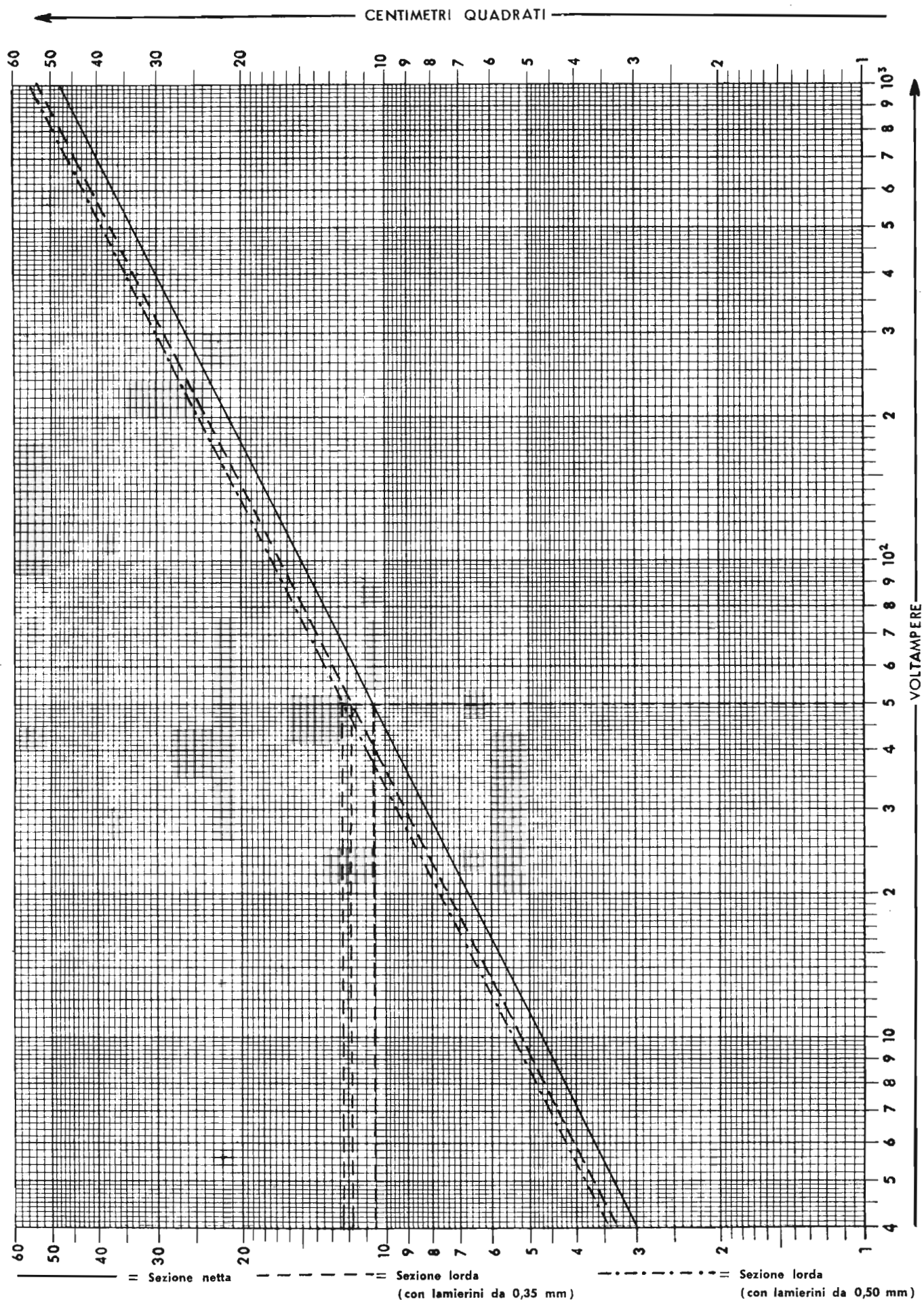
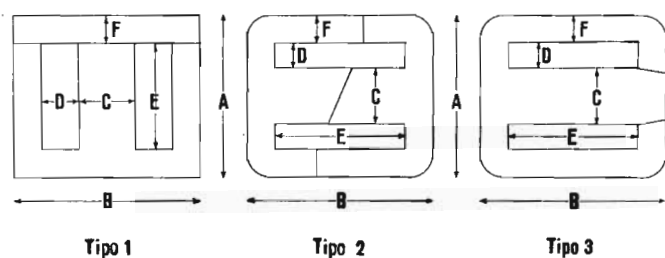



TABELLA 53 — DATI DIMENSIONALI dei LAMIERINI per TRASFORMATORI

Dimensioni in millimetri				
A B	Tipo	C	D ed F	E
32× 38	1	13	6,5	19
37× 44	1	14	7,5	22
40× 48	1	16	8,0	24
47× 57	1	19	9,5	28
50× 64	3	14	10,0	50
52× 67	3	16	16,0	38
54× 54	2 e 3	16	11,0	38
55× 66	1	22	11,0	33
55× 82	2	20	22,0	37
63× 76	1	25	13,0	38
70× 70	2 e 3	20	16,0	50
70×100	1	28	23,0	44
72× 92	2	27	18,0	43
76× 80	2	20	21,0	52
76× 80	3	20	21,0	58
76× 80	2 e 3	25	16,0	52
79× 94	1	32	16,0	47
80×100	1	28	21,0	52
82×105	2	30	22,0	52
84× 87	3	23	19,0	60
95×115	2	31	26,0	63
100×102	1	28	22,0	74
105×105	2 e 3	30	22,0	74
105×110	3	25	30,0	79
110×115	2	32	25,0	78
116×126	2	40	25,0	80
119×145	2	40	32,0	79
120×100	1	40	20,0	60
124×115	1	18	35,0	79
145×145	2	40	32,0	105
166×196	2	60	40,0	110
220×240	1	70	40,0	160
220×400	1	70	40,0	320

valore della potenza viene individuato sulla scala inferiore (voltampère). Dal punto corrispondente si alza una perpendicolare fino ad incontrare le rette inclinate presenti sul grafico. Dai punti di incontro si tracciano altrettante rette orizzontali, fino ad incontrare la scala verticale destra o sinistra (come risulta più comodo), sulla quale si leggerà la sezione direttamente in centimetri quadrati. La sezione lorda può essere calcolata sia con lamierini da 0,35 mm che con lamierini da 0,50 mm.

L'esempio riportato dimostra che con una potenza di 50 VA, occorre una sezione netta di 10,5 cm², una sezione lorda di 11,7 cm² con lamierino da 0,35 e di 12,3 cm² con lamierino da 0,50.

La tabella 53, quì a fianco riportata, elenca le dimensioni standardizzate dei lamierini più comuni adatti alla realizzazione di trasformatori di piccola potenza.

Il disegno riportato sopra alla tabella, consente di individuare le dimensioni elencate nei tre tipi più comuni. Non si è fatto cenno allo spessore, in quanto detti lamierini sono sempre disponibili nei due spessori di 0,35 e 0,50 mm.

Dovendo realizzare un trasformatore avente un nucleo di 10 cm² — ad esempio — si potranno calcolare le dimensioni di ingombro usando un lamierino da 76×80 (tipo 2). In tal caso, dal momento che la larghezza della colonna centrale (nucleo) « *C* » è di 25 mm, lo spessore del pacco dovrà essere di 4 cm (in tal caso si intendono 10 cm² di sezione lorda).

Le « *finestre* » nelle quali l'avvolgimento dovrà essere alloggiato avranno quindi le dimensioni di mm 21×52, (D×E).

Una volta nota quest'ultima dimensione, è possibile (come detto nel testo della lezione 38ª) verificare se l'ingombro totale dell'avvolgimento è tale da poter esservi contenuto.

La tabella 54 — riportata qui di fronte — elenca numerose caratteristiche elettriche e dimensionali relative ai conduttori di rame smaltato, nelle misure di diametro più comuni per gli impieghi in radiotecnica, vale a dire da 0,05 millimetri a 4 millimetri.

La grande utilità di questa tabella si rivela pienamente (e ciò abbiamo già visto nello svolgimento della lezione 38ª per il calcolo di un trasformatore tipico di alimentazione) allorchè ci si trova nella necessità di realizzare un qualsiasi avvolgimento, sia una bobina di induttanza per Alta Frequenza, sia le spire di un trasformatore, come si è detto, sia quelle di una impedenza. Si possono conoscere a priori, con buona approssimazione, gli ingombri e giudicare quindi se lo spazio a disposizione per l'avvolgimento è sufficiente.

A questo proposito facciamo rilevare che, per maggiore comodità, è stato riportato sia il numero delle spire che possono essere avvolte in un centimetro lineare, sia quello delle spire che possono essere avvolte in un centimetro quadrato. In tal caso, si intende il numero delle spire che compaiono su un centimetro quadrato della sezione dell'avvolgimento, ossia in una unità di superficie della sezione di un avvolgimento compatto, formato da strati sovrapposti.

Teoricamente, tale valore dovrebbe essere costituito dal quoziente tra 1 cm ed il diametro del conduttore,

TABELLA 54 — CARATTERISTICHE dei CONDUTTORI in RAME SMALTATO per AVVOLGIMENTI di BOBINE e TRASFORMATORI

Diam. filo mm	Sezione mm²	Spire per cm	Spire per cm²	Ohm per m	Metri per 10 ohm	Peso in g per 100 m	Lunghezza per 100 g m	Resistenza per 100 g ohm	Peso per 100 ohm	Corrente max in ampère 2,0 A per mm²	2,5 A per mm²	3,0 A per mm²
0,05	0,002	125,0	15.500	9,500	0,112	1,90	5.263,10	47.103,000	gr 0,210	0,004	0,005	0,006
0,06	0,003	113,0	13.450	6,310	0,161	2,70	3.703,70	22.995,000	» 0,430	0,005	0,007	0,008
0,07	0,004	100,0	10.000	4,560	0,219	3,70	2.702,70	12.159,000	» 0,780	0,007	0,010	0,011
0,08	0,005	86,0	7.200	3,500	0,286	4,90	2.040,82	7.140,000	» 1,400	0,010	0,013	0,015
0,09	0,006	78,0	6.150	2,760	0,362	6,00	1.666,67	4.498,000	» 2,170	0,012	0,016	0,019
0,10	0,008	72,0	5.200	2,220	0,452	7,70	1.298,70	2.881,000	» 3,450	0,016	0,020	0,023
0,11	0,009	67,0	4.560	1,840	0,543	9,00	1.111,11	2.044,000	» 4,850	0,020	0,024	0,028
0,12	0,011	61,0	3.740	1,550	0,645	10,60	943,39	1.461,000	» 6.750	0,022	0,029	0,035
0,15	0,018	50,0	2.500	0,990	1,010	16,70	598,80	597,000	» 16,800	0,035	0,046	0,052
0,18	0,025	42,0	1.765	0,685	1,460	23,50	425,53	297,000	» 34,200	0,055	0,066	0,080
0,20	0,032	38,0	1.400	0,657	1,795	29,50	338,98	186,000	» 53,650	0,063	0,081	0,095
0,22	0,038	35,7	1.225	0,460	2,174	35,50	281,69	129,250	» 77,000	0,075	0,099	0,115
0,25	0,049	31,0	960	0,357	2,801	45,50	219,78	78,900	» 127,000	0,096	0,125	0,150
0,28	0,062	28,5	790	0,285	3,509	57,00	175,43	49,000	» 200,000	0,125	0,160	0,180
0,30	0,071	26,0	670	0,248	4,032	66,50	150,37	37,500	» 260,000	0,140	0,175	0,210
0,32	0,080	24,5	600	0,218	4,587	74,00	135,13	29,700	» 375,000	0,160	0,198	0,240
0,35	0,096	23,0	530	0,182	5,495	91,00	109,89	19,620	» 500,000	0,195	0,250	0,290
0,38	0,113	21,7	475	0,154	6,494	103,50	97,08	14,550	» 670,000	0,225	0,285	0,340
0,40	0,126	20,0	400	0,139	7,199	116,00	86,20	12,240	» 825,000	0,250	0,310	0,380
0,45	0,159	18,5	350	0,110	9,091	147,00	68,02	7,480	kg 1,325	0,320	0,400	0,480
0,50	0,196	16,7	275	0,089	11,173	178,00	56,17	4,940	» 1.970	0,390	0,500	0,590
0,55	0,238	15,4	240	0,074	13,550	217,00	46,08	3,350	» 2.940	0,475	0,600	0,720
0,60	0,283	14,3	205	0,062	16.181	262,00	38,16	2,310	» [illegible]	0,566	0,700	0,850
0,65	0,332	13,3	160	0,053	18,904	300,00	33,33	1,710	» 5.670	0,660	0,830	1,000
0,70	0,385	12,3	155	0,046	21,978	360,00	27,77	1,260	» 7.884	0,775	1,000	1,150
0,75	0,442	11,6	135	0,040	25,189	403,00	24,81	1,000	» 10.040	0,885	1,110	1,330
0,80	0,503	10,9	118	0,035	28,736	460,00	21,73	0,710	» 13.202	1,000	1,250	1,500
0,85	0,567	10,3	105	0,031	32,363	515,00	19,41	0,580	» 16.634	1,130	1,410	1,700
0,90	0,636	9,7	96	0,028	36,364	580,00	17,24	0,460	» 21.054	1,270	1,600	1,920
0,95	0,709	9,3	86	0,025	40,323	650,00	15,38	0,360	» 26.195	1,420	1,750	2,130
1,00	0,785	8,5	72	0,022	44,843	715,00	13,98	0,310	» 31.808	1,570	1,960	2,360
1,20	1,131	7,5	56	0,016	64,516	1.040,00	9,61	0,140	» 67.080	2,250	2,850	3,400
1,40	1,539	6,5	43	0,011	87,719	1.410,00	7,09	0,080	» 123,657	3,080	3,850	4,620
1,50	1,767	6,0	36	0,010	100,806	1.615,00	6,21	0,060	» 161.000	3.530	4,400	5,280
1,80	2,545	5,4	29	0,007	144,928	2.320,00	4,31	0,030	» 334.080	5,000	6,350	7,650
2,00	3,142	4,9	23	0,006	178,571	2.850,00	3,50	0,020	» 507.300	6,280	7,860	9,400
2,50	4,909	3,9	15	0,004	277,778	4.450,00	2,24	0,008	» 1.113.976	9,850	10,300	14,700
3,00	7,069	3,3	10	0,003	400,000	6.580,00	1,51	0,003	» 2.632.000	14,400	17,700	21,200
4,00	12,566	2,6	6	0,001	714.422	9.650,00	1,03	0,001	» 6.893.960	25,400	31.500	37.700

ma in realtà esso è sempre inferiore in quanto la tabella tiene conto anche dello spessore dello smalto che riveste il conduttore.

Ovviamente, tale spessore è tanto maggiore quanto maggiore è il diametro del conduttore stesso.

Le varie colonne, ulteriori a quelle già citate, consentono di calcolare (con sufficiente approssimazione) la lunghezza in metri del filo necessario per eseguire un determinato avvolgimento, la sua resistenza ohmica, il peso (e quindi eventualmente il costo), l'ingombro generale, nonchè la corrente che può percorrere il conduttore. In riferimento a quest'ultimo valore, sono riportati tre dati che consentono di stabilire la scelta del filo in base alla massima intensità di corrente ammessa secondo tre diversi criteri costruttivi: 2 A/mm² (nel caso di trasformatori o avvolgimenti funzionanti 24 ore su 24): 2,5 A/mm² (nel caso di trasformatori o avvolgimenti che funzionano per diverse ore consecutive), e 3 A/mm² (nel caso di trasformatori o avvolgimenti destinati a funzionare ad intermittenza per qualche ora, alternando periodi analoghi di riposo).

TABELLA 55 — CARATTERISTICHE MECCANICHE ed ELETTRICHE dei TIPI di CARTA più COMUNI per ISOLAMENTO tra gli STRATI

Diametro filo di avvolg. mm	Tipo del materiale	Spessore del materiale mm	Tensione isolamento volt/strato
0,02÷0,10	carta pergam.	0,02	25
0,10÷0,20	carta pergam.	0,03	40
0,20÷0,50	carta pergam.	0,05	75
0,50÷1,00	carta larice	0,10	150
1,00÷oltre	carta larice (strati sovrap.)	0,15	220

	Tipo del materiale	Spessore del materiale mm	Tensione isolamento volt/strato
Isolamento tra avvolgimenti	Lateroid	0,20	400
	Lateroid	0,30	600
	Tela sterlingata	0,15	400
	Tela sterlingata	0,25	600

La tabella 55 elenca i tipi di carta più comuni con i quali vengono isolati tra loro gli strati degli avvolgimenti dei trasformatori, o i vari avvolgimenti tra loro.

I dati riportati consentono di stabilire sia l'isolamento effettivo, sia le dimensioni di ingombro. Noto infatti il numero degli strati di un avvolgimento (facilmente calcolabile mediante la tabella 54), dal momento che per ogni strato di conduttore ne occorre uno di carta (o più, a seconda delle tensioni in gioco), si potrà conoscere lo spessore totale della carta e calcolare così con buona precisione l'ingombro totale dell'avvolgimento.

Per l'isolamento tra vari avvolgimenti (ad esempio tra uno ad alta tensione ed uno a bassa tensione, o tra un avvolgimento realizzato con conduttore sottile, ed un altro realizzato con conduttore di notevole diametro), si preferisce generalmente adottare del cartoncino « *lateroid* », migliorando eventualmente la caratteristica di isolamento mediante tela sterlingata.

Il CODICE dei COLORI per i TERMINALI dei TRASFORMATORI

Per riconoscere rapidamente i vari terminali degli avvolgimenti di un trasformatore, sono stati creati dei codici speciali che quì riportiamo.

La **figura 1** illustra lo schema elettrico di un trasformatore, elencando anche i colori dei vari terminali in base al codice adottato dalla maggior parte dei fabbricanti americani.

È facile notare che il primario ha un terminale di inizio (0), e due prese, (110 e 220), corispondenti alle uniche due tensioni di « rete » disponibili in America. I secondari riportati sono quattro, ma possono essere anche in numero inferiore (raramente superiore). In ogni caso, uno dei secondari a bassa tensione (generalmente 5 volt), serve per l'accensione del filamento della valvola raddrizzatrice (vedremo presto di che cosa si tratta), mentre gli altri secondari possono essere adoperati per l'accensione di altre valvole, di lampade spia, ecc.

L'avvolgimento ad alta tensione, che fornisce la tensione « anodica » necessaria per il funzionamento delle valvole (anche di questo argomento ci occuperemo tra breve), è anch'esso facilmente riconoscibile.

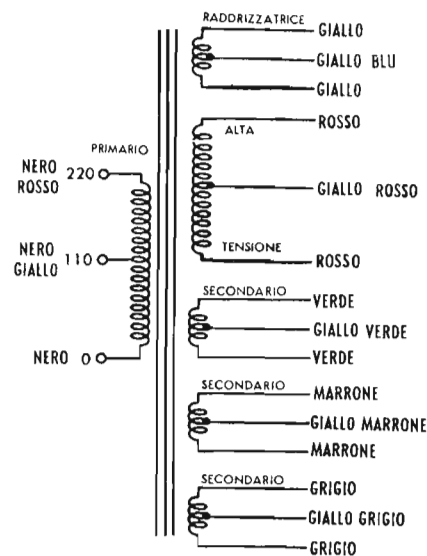



Figura 1

I colori elencati caratterizzano il materiale isolante (cotone o plastica) che riveste i terminali di uscita del trasformatore.

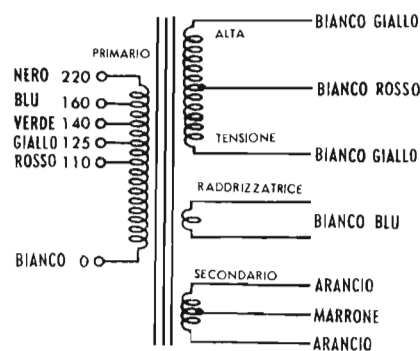



Figura 2

La **figura 2** elenca i colori adottati nei trasformatori di alimentazione prodotti dalla Fabbrica Italiana « *Geloso* ».

Come si nota, l'avvolgimento primario è provvisto di diverse prese, corrispondenti alle varie tensioni (da 110 a 220 volt) disponibili sulle varie reti italiane di distribuzione dell'energia elettrica. Il numero dei secondari è limitato a tre, di cui uno per l'alta tensione, uno per il filamento della raddrizzatrice, ed uno per le valvole.

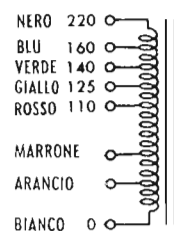



Figura 3

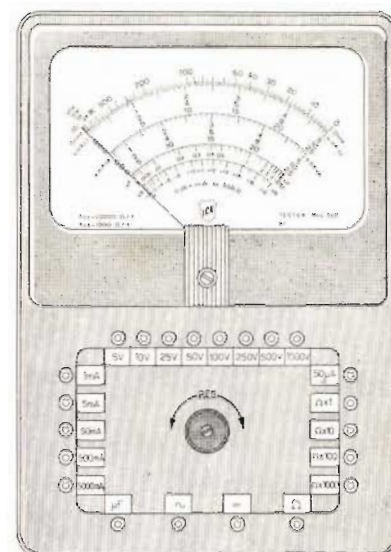
La **figura 3** rappresenta invece un « autotrasformatore » usato per l'alimentazione degli apparecchi radio di tipo economico. In tal caso, tutte le tensioni vengono ricavate da un unico avvolgimento, il quale (come vedremo in altra occasione) è avvolto con conduttori di varia sezione, a seconda delle intensità di corrente necessarie.

La costruzione di

NUOVI RADIORICEVITORI SEMPLICI

e di un

"TESTER"-CAPACIMETRO (20.000 ohm x volt)

costituiranno oggetto del prossimo fascicolo (N. 14), unitamente alla lezione teorica: IL RICEVITORE RADIO

Con il presente fascicolo (N. 13) scadono tutti gli abbonamenti di prova a suo tempo contratti. Come allora annunciato, gli abbonati interessati possono proseguire l'abbonamento versando la sola differenza necessaria nei confronti dell'abbonamento a 1/2 Corso o all'intero Corso, ossia:

Lire 1.700 *per abbonamento sino al* N. 26;

Lire 4.830 *per abbonamento sino al* N. 52.

Chiunque, non ancora abbonato, intenda iniziare dal prossimo fascicolo, può farlo versando l'importo di lire 5.070 per ricevere tutte le future lezioni, sino alla fine del Corso.

Ricordiamo che il nostro Conto Corrente Postale porta il N. 3/41203 ed è intestato: Corso di Radiotecnica - Via dei Pellegrini, 8/4 Milano.

I numeri arretrati costano lire 300 cadauno, tuttavia, per agevolare coloro che fossero privi di qualche fascicolo, ne offriamo l'invio dietro rimessa - a mezzo vaglia - dell'importo di sole lire 150 per fascicolo.

---

corso di RADIOTECNICA

pubblicazione settimanale - 1 - 7 gennaio 1961 - un fascicolo lire 150 14° numero

corso di

RADIOTECNICA

settimanale a carattere culturale

Direzione, Amministrazione, Pubblicità:
Via dei Pellegrini 8/4 - Telef. 593.478

MILANO

Ogni fascicolo — contenente 3 lezioni — costa lire 150, acquistato alle edicole.

Se l'edicola risulta sprovvista, o si teme di rimanere privi di qualche numero, si chieda invio settimanale direttamente al proprio domicilio a mezzo abbonamento.

Il versamento per ricevere i 52 fascicoli costituenti l'intero Corso è di lire 6500 + I.G.E. = lire 6630. A mezzo vaglia postale, assegno bancario, o versamento sul conto corr. postale 3/41.203 del « Corso di RADIOTECNICA » - Via dei Pellegrini 8-4 - Milano.
In ogni caso, scrivere in modo molto chiaro e completo il proprio indirizzo.

L'abbonamento può essere effettuato in qualsiasi momento; si intende comprensivo delle lezioni pubblicate e dà diritto a ricevere tali lezioni, che saranno inviate con unica spedizione.

Estero: abbonamento al Corso, Lit. 8.500. ($ 15). Numeri singoli Lit. 300 ($ 0,50).

Per i cambi di indirizzo durante lo svolgimento del Corso, unire lire 100, citando sempre il vecchio indirizzo.

Fascicoli singoli arretrati — se disponibili — possono essere ordinati a lire 300 cadauno.
Non si spedisce contrassegno.

Distribuzione alle edicole di tutta Italia: Diffus. Milanese . Via Soperga, 57 - Milano.

Direttore responsabile: Giulio Borgogno.

Autorizzaz. N. 5357 - Tribunale di Milano.

Stampa: Intergrafica S.r.l. - Cologno Monzese.

La Direzione non rivende materiale radio; essa può comunicare, se richiesta, indirizzi di Fabbricanti, Importatori, Grossisti ecc. in grado di fornire il necessario ed ai quali il lettore può rivolgersi direttamente.

Alla corrispondenza con richiesta di informazioni ecc. si prega allegare sempre il **francobollo per la risposta.**

Parte del testo e delle illustrazioni è dovuta alla collaborazione del Bureau of Naval Personnel, nonchè al Dept. of the Army and the Air Force - U.S.A.

A chi può essere utile questo Corso? Anzitutto — stante la sua impostazione — il Corso, basato sull'esposizione in forma a tutti accessibile, della radiotecnica, dai suoi elementi basilari alla evoluzione più recente, rappresenta la forma ideale per tutti coloro che intendono dedicarsi all'elettronica, sia come forma ricreativa sia — soprattutto — per l'acquisizione di una professione specializzata che possa procurare loro una posizione di privilegio in seno alla società odierna.

Anno per anno, la nostra civiltà si indirizza sempre più verso questa meravigliosa, si potrebbe dire fascinosa, elettronica, che nel modo più evidente consente sviluppi impensati, progressi grandiosi e una rapida evoluzione di tutti gli altri rami dello scibile che essa tocca e influenza.

L'industria, tutta l'industria, nel senso più ampio, da quella elettrotecnica a quella meccanica, alla metallurgica, alla chimica ecc., con i suoi laboratori di ricerca e le sue fabbriche richiede, e richiederà sempre più, con un ritmo rapidamente crescente, tecnici specializzati con conoscenza dell'elettronica, tecnici specificatamente elettronici e persino operai e impiegati di ogni ordine e categoria con cognizioni di elettronica.

Si può dire che anche le branche commerciali, quelle dei trasporti e persino quelle amministrative con le recenti introduzioni delle calcolatrici, abbisognano di personale che conosca i principi dell'elettronica, le macchine relative, il loro pieno sfruttamento, la eventuale riparazione ecc. e, quanto più in modo completo, quanto meglio.

Nasce, da una tale situazione, una logica conseguenza: per la scelta di una professione o di un mestiere, per un miglioramento della propria posizione sociale, per l'intrapresa di una libera attività o anche per la sola acquisizione di cognizioni che indubbiamente verranno oltremodo utili, è quanto mai opportuno riflettere se non sia conveniente dedicare un po' di tempo allo studio di questa scienza che ha tra l'altro il pregio di rendersi immediatamente attraente, concreta, accessibile e foriera di moltissime soddisfazioni.

A questo scopo appunto, e con questi intenti, è stato redatto questo Corso.

Non mancano invero altri corsi (specie per corrispondenza) o scuole di radiotecnica, nè mancano (sebbene siano in numero del tutto inadeguato) scuole statali o pareggiate ma la struttura e l'impostazione che caratterizzano queste 156 lezioni sono alquanto particolari, presentando non pochi vantaggi sulle diverse altre forme di cui si è detto.

Anzitutto vogliamo porre in evidenza **il fattore economico.**

Frequentare regolarmente, durante tutto l'anno, una scuola è certo il modo più logico — anche se non il più rapido — per apprendere ma, tralasciando il fatto che rarissimi sono gli Istituti di radiotecnica, è a tutti possibile dedicarsi esclusivamente, e per l'intero anno, allo studio? Noi riteniamo che chi può farlo costituisca oggi assai più l'eccezione che la regola. Ciò significa infatti poter disporre liberamente del proprio tempo senza avere la necessità di un contemporaneo guadagno: il nostro Corso permette a chiunque di studiare a casa propria, nelle ore libere dal lavoro, senza abbandonare o trascurare quest'ultimo. Ciò caratterizza invero anche altri corsi, ma il vantaggio economico diviene notevole ed evidentissimo se si considera che di fronte all'esborso, **anche se rateale, di quasi 80.000 lire che i** corsi per corrispondenza richiedono, seguendo il nostro Corso la spesa in un anno risulta di poco più di 7500 lire (150 lire alla settimana presso un'edicola) o di 6630 lire totali, con recapito postale, settimanale, delle lezioni a domicilio.

E' superfluo dire che la Modulazione di Frequenza, i transistori, i circuiti stampati, la trasmissione, il telecomando ecc. sono argomenti integrali del Corso e non costituiscono motivo di corsi speciali, aggiunti o particolari.

Le lezioni di questo Corso — a differenza di molte altre — non sono stampate con sistemi di dispensa, a ciclostile, o con sistemi più o meno analoghi, derivanti cioè da un originale battuto a macchina da scrivere; esse sono stampate in uno stabilimento grafico, con chiari caratteri tipografici da cui deriva una assai più agevole lettura e — fattore certamente di non secondaria importanza — un contenuto molto più ampio, corrispondendo una pagina a stampa a tre o quattro pagine di quelle citate. Il lettore avrà, alla fine del Corso, un volume di ben 1248 pagine di grande formato!

Chiunque, indipendentemente dall'età, dalla professione e dalle scuole compiute **può seguire il Corso.** Alle esposizioni teoriche si abbinano numerose, attraenti, istruttive ed utili descrizioni che consentono la realizzazione di ricevitori, amplificatori, strumenti vari e persino di trasmittenti su onde corte.

A questo proposito è sintomatico il fatto che la Direzione non vuole assolutamente assumere la fisionomia di un fornitore o commerciante di materiale radio, rivendendo agli allievi le parti necessarie. Il materiale occorrente l'interessato può acquistarlo dove e come meglio crede e, assai spesso anzi, già ne dispone. Viene così evitato l'acquisto forzoso, caratteristico più o meno di tutti gli altri corsi.

Anche chi è già radiotecnico, anche chi ha seguito o segue altri corsi troverà il massimo tornaconto in questo completo ed aggiornato lavoro. Molte nozioni, è logico, saranno note, altre un po' meno e sarà utile rinfrescarle, e il tutto infine costituirà un manuale di consultazione, prezioso tanto per la teoria esposta quanto per i numerosi schemi, per le tabelle, per i grafici, gli elenchi, i dati, il vocabolario dei termini ecc.

Concludendo, si può affermare che questo **Corso di Radiotecnica** oltre che come insegnamento graduale si presenta come **enciclopedia e rivista assieme** ciò che permette di formare — con modestissima spesa — **il più completo, ricco, utile e pratico volume di radiotecnica di cui sia dato oggigiorno disporre.**

IL RICEVITORE RADIO

Lo studio sin qui svolto nelle diverse lezioni ci ha portato ad una rassegna — sufficientemente analitica — dei fenomeni che si svolgono nei circuiti radioelettrici e nei relativi componenti. Abbiamo anche svolto un esame di questi ultimi, del loro comportamento e della loro funzione singola e reciproca. Con ciò ci è consentito affermare che il ricevitore radio, nei suoi principi generali di funzionamento può apparirci ora assai più familiare, e che è perciò giunto il momento di esaminarlo con maggiore dettaglio anche se non abbiamo ancora affrontato lo studio dell'amplificazione, e dei mezzi per attuarla, che nel radioricevitore giuocano un ruolo importantissimo.

REQUISITI GENERALI del RICEVITORE

Il ricevitore ha il compito di completare il ciclo della comunicazione a distanza, iniziata dal trasmettitore. Esso, sappiamo, deve captare una parte dell'energia irradiata da quest'ultimo, separare da questa la cosiddetta « corrente fonica », ossia la « modulazione » che, ci è noto, non è altro che il suono costituito dai segnali percepiti dall'organo sensibile (in linea di massima, un microfono) del trasmettitore, e riprodurla sotto forma di energia percepibile, ossia di suono.

Nelle pagine seguenti vedremo come il ricevitore assolva il suo compito nelle radiocomunicazioni. Riassumiamo anzitutto le caratteristiche principali che ci sono già note in linea di massima.

Gamma di frequenze

La gamma di frequenza è delimitata dalla frequenza minima e massima — ossia rispettivamente dalla lunghezza d'onda massima e minima — che l'apparecchio è in grado di ricevere. Se consideriamo la zona di frequenze che può interessare un radioricevitore, si rileva che essa va da un minimo di 10 kHz ad un massimo di oltre 30.000 MHz; non esiste, tuttavia, un radioricevitore che possa ricevere effettivamente tutte le frequenze, in quanto gli estremi citati coprono una zona eccessivamente vasta, tanto che, per farvi riferimento con sufficiente chiarezza, è necessario suddividerla in « gamme », come esposto nella prima lezione.

Un altro genere di suddivisione è visibile nella tabella delle lunghezze d'onda, pubblicata pure nella prima lezione, allorchè abbiamo illustrato ciò che si intende per oscillazione elettromagnetica. La tabella è basata su di una suddivisione che tiene presente lo scopo per il quale dette frequenze vengono impiegate.

Un ricevitore può coprire un'intera gamma, oppure soltanto una parte di essa; nella maggior parte dei casi, è in grado di ricevere due o tre gamme. Allorchè una di queste ha un'estensione compresa tra 550 kHz e 1.600 kHz, si ha la ricezione della gamma delle « onde medie ».

Sensibilità

La sensibilità è la misura della possibilità da parte di un ricevitore di captare segnali deboli, e di ricavarne segnali percepibili. Qualsiasi apparecchio ricevente intercetta o capta varie irradiazioni, provenienti dai molti trasmettitori presenti ovunque, e funzionanti entro le diverse gamme delle radiofrequenze con varie potenze di irradiazione, per cui i segnali captati sono, oltre che di diversa frequenza, anche di varia intensità. Un ricevitore appartiene ad una classe tanto migliore — agli effetti della sensibilità — quanto più deboli sono i segnali che esso può ricevere dando sempre, nel contempo, una resa apprezzabile.

Selettività

Per selettività si intende la possibilità da parte di un ricevitore di captare un dato segnale e di trasformarlo in energia percepibile ai nostri sensi, escludendo tutti gli altri segnali captati contemporaneamente, e che in quel momento non interessano. Dal punto di vista del ricevitore, le irradiazioni ad Alta Frequenza ricevute sono un intricato complesso di segnali a varie frequenze ed a varie intensità: un ricevitore con qualità selettive elevate deve essere in grado di scegliere tra i tanti un solo segnale, ossia una sola frequenza portante, e di « respingere » tutte le altre, perfino quelle di valor molto prossimo a quello della frequenza che si desidera ricevere.

Fedeltà

Mentre la sensibilità e la selettività sono costituite — come si è detto — dalla possibilità da parte del ricevitore di intercettare segnali sia pure deboli, e di ricavarne energia percepibile, scegliendo una sola emittente e scartando tutte le altre ricevute contemporaneamente, per fedeltà si intende la capacità da parte del ricevitore stesso di riprodurre segnali il più eguali possibili a quelli irradiati mediante la radiofrequenza. Un ricevitore costruito per scopi ricreativi, ossia per ricevere programmi vari di musica, prosa, notiziari, ecc. (radiodiffusione) deve necessariamente avere un grado di fedeltà discreta-

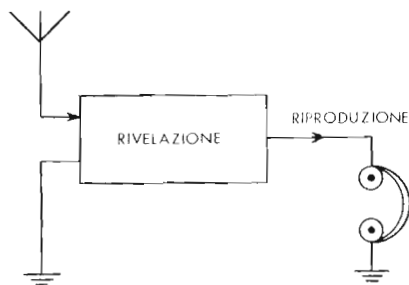



Fig. 1 — La figura sintetizza due delle tre funzioni essenziali del più semplice ricevitore, che sono: selezione del segnale tra i vari presenti, rivelazione dello stesso ed infine riproduzione sonora.

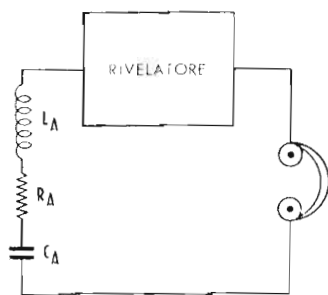



Fig. 2 — L'antenna in effetti è un circuito sintonizzato, presentante la propria induttanza LA, la propria capacità CA ed una propria resistenza RA. Come circuito sintonizzato inizia il processo di selezione.

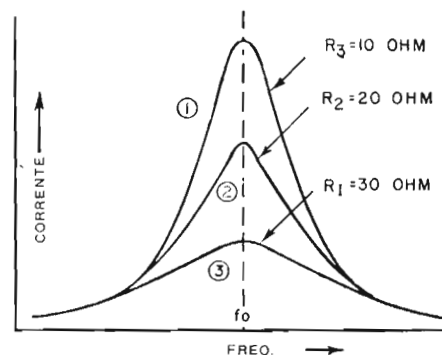



Fig. 3 — È dimostrato come la resistenza dell'antenna abbia importanza sulla selettività e sul rendimento.

mente elevato. Esso, in altre parole, deve riprodurre fedelmente il suono e gli aspetti generali sui quali si basa la trasmissione, vale a dire, tanto le note musicali di una orchestra, quanto la voce di un annunciatore, di un attore, ecc.

Le esigenze di fedeltà per comunicazioni di traffico commerciale tipo telefonico non sono invece molto critiche, tuttavia, la riproduzione deve essere sempre abbastanza chiara a chè risulti intellegibile senza sforzo da parte dell'ascoltatore.

Riassumendo, la riproduzione deve essere priva di distorsioni indesiderabili: la voce deve essere comprensibile, e priva di interferenze o di vibrazioni estranee alla trasmissione stessa.

Caratteristiche fisiche

I componenti di un ricevitore sono quasi tutti più piccoli e compatti di quelli di un trasmettitore; ciò è dovuto principalmente al fatto che le esigenze di alimentazione sono inferiori. Di conseguenza, in un ricevitore i componenti che costituiscono la sezione alimentatrice sono contenuti nell'apparecchio stesso. Le dimensioni effettive, il peso ed il costo, variano in maniera considerevole a seconda della qualità e delle esigenze alle quali l'apparecchio deve rispondere.

Gli apparecchi destinati alla ricezione della radiodiffusione si discostano da altri detti « professionali ». Nei primi si soddisfano esigenze commerciali che permettono tuttavia, di realizzare buoni apparecchi pur evitando i costosi accorgimenti necessari per la realizzazione di apparecchiature professionali. Vi sono poi apparecchi adatti all'installazione su mezzi mobili, come ad esempio autovetture, che sono montati in modo da poter sopportare urti di una certa entità, e sono costruiti secondo criteri che potremmo anche definire semiprofessionali.

REQUISITI BASE della RADIORICEZIONE

Il più semplice radioricevitore compie tre funzioni essenziali: *selezione, rivelazione* e *riproduzione*.

Mediante *la selezione*, tra i vari segnali a radiofrequenza ricevuti dall'antenna uno solo viene scelto e successivamente introdotto nei circuiti del ricevitore. *La rivelazione* separa le correnti foniche dalla radiofrequenza, in quanto quest'ultima, come ben sappiamo, agisce unicamente da « mezzo di trasporto » agli effetti di ciò che si desidera trasmettere e ricevere. Infine, mediante *la riproduzione*, i suoni, la voce o altri segnali convenzionali di intelligenza trasmessi, e convertiti all'atto della trasmissione in impulsi elettrici, vengono ritrasformati in segnali direttamente percepibili dall'orecchio.

Tali operazioni, ad eccezione della selezione, sono sintetizzate alla **figura 1.**

L'antenna

In effetti, l'antenna in se stessa non è altro che un circuito sintonizzato che, in un certo senso, inizia il processo di selezione. La **figura 2** che riproduce il circuito equivalente di un'antenna, dimostra come essa funzioni da circuito risonante. L_A rappresenta la sua induttanza distribuita, C_A rappresenta la capacità, ed R_A la resistenza.

La frequenza di risonanza di un'antenna può essere determinata dalla formula:

$$F\ (\text{MHz}) = \frac{159}{\sqrt{LC}}$$

nella quale L = induttanza in microhenry, C = capacità in microfarad.

Sostituendo valori tipici nella formula, (L_A = 50 μH e C_A = 200 pF) si ha:

$$F\ (\text{MHz}) = \frac{159}{\sqrt{(50)\ (200)}} = 1{,}59\ \text{MHz}$$

È opportuno notare che detta frequenza di risonanza può essere variata, vadiando L o C o entrambi, e — se l'antenna è costituita da un cavo o da un radiostilo — sia L che C variano direttamente col variare della lunghezza dell'antenna stessa. La frequenza di risonanza è tanto più bassa quanto più l'antenna è lunga.

La resistenza dell'antenna ha una certa influenza sulla sensibilità del circuito sintonizzato: ciò è illustrato alla **figura 3,** nella quale si notano vari valori della corrente d'antenna corrispondenti ai vari valori di resistenza, se L e C restano costanti. È importante notare che, minore è detta resistenza, maggiori sono sia il responso che la selettività. Il lettore che ricorda quanto è stato esposto alla lezione 35ª, relativa ai circuiti risonanti, può immediatamente constatare l'analogia di questo caso con ciò

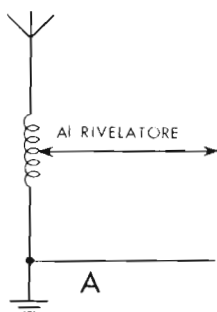



Fig. 4 A — L'aggiunta di una induttanza al circuito di antenna permette di variare la « lunghezza elettrica » della stessa.

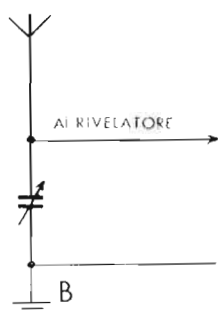



Fig. 4 B — Anche l'aggiunta di una capacità varia la « lunghezza elettrica » di un'antenna.

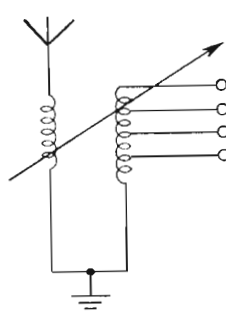



Fig. 5 — Se il trasferimento del segnale dall'antenna al circuito sintonizzato è induttivo, si ottiene maggiore selettività, data la separazione delle funzioni

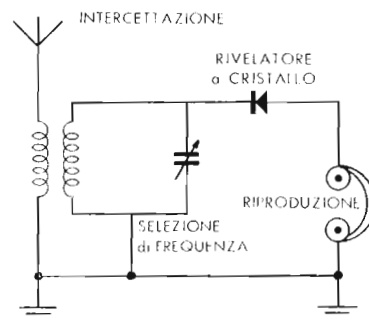



Fig. 6 — Questo circuito, che svolge la funzione di rivelazione, è già noto ai nostri lettori. Esso rappresenta il più semplice ricevitore realizzabile.

che è stato esposto allora nei riguardi della selettività (pagina 275).

Un'antenna può essere sintonizzata in fase di costruzione, facendo in modo che la sua lunghezza corrisponda ad esempio, ad un quarto della lunghezza d'onda che si desidera ricevere, o ad un multiplo di tale valore, e può anche essere costruita in modo tale che sia addirittura possibile variarne la lunghezza per scopi pratici.

Con frequenze molto alte, la selettività dovuta alla sintonizzazione dell'antenna può essere molto critica, e può acquistare un ruolo di notevole importanza; in tali gamme infatti, le antenne hanno lunghezze ridotte, e la loro resistenza viene mantenuta ai valori più bassi possibili. Vi sono casi in cui una leggera dissintonia dell'antenna può addirittura impedire la ricezione.

Per le frequenze più basse invece le antenne sono molto lunghe, e la riduzione della resistenza interna è meno pratica. Contemporeanemente, accade che anche la sintonia sia meno critica. Il guadagno ottenuto in un ricevitore mediante gli « stadi » di amplificazione, supera di gran lunga quello che si ottiene sintonizzando l'antenna, per cui la lunghezza di quest'ultima ha ben poca importanza nei ricevitori per radiodiffusione.

Nei più semplici ricevitori, come quelli già descritti, non essendoci però alcun stadio di amplificazione, la lunghezza dell'antenna è molto importante agli effetti sia della sensibilità che della selettività.

L'antenna ricevente capta il segnale in quanto si trova sul suo percorso. È noto che quando linee di forza magnetica tagliano un conduttore (l'antenna), in esso viene indotta una f.e.m. Tale tensione indotta riproduce la radiofrequenza portante nonchè le sue eventuali variazioni, tanto di frequenza che di ampiezza. La tensione indotta, inoltre, è massima quando l'antenna è sintonizzata sulla frequenza della tensione e radiofrequenza portante. La tensione indotta rappresenta l'energia intercettata necessaria al primo passo del processo della ricezione: intercettazione del segnale (energia a radiofrequenza) e sua selezione.

La sintonizzazione agli effetti della selettività

Come abbiamo visto, la frequenza di risonanza di un'antenna può essere variata variandone l'induttanza, la capacità oppure entrambe. Ciò può essere effettuato collegando nel relativo circuito una induttanza o una capacità variabile come illustrato nelle sezioni **A** e **B** della **figura 4**. L'aggiunta di una induttanza o di una capacità non ha evidentemente alcun effetto sulla lunghezza fisica di un'antenna, ma influisce notevolmente sulla sua *lunghezza elettrica*. È quest'ultima che determina la frequenza di risonanza dell'antenna. Quando, o l'induttanza o la capacità aggiunta sono variabili, la lunghezza « elettrica » dell'antenna può essere variata in modo da raggiungere il valore esatto per la sintonia su una determinata frequenza.

Infine, è possibile ottenere una maggiore selettività d'assieme accoppiando il segnale ricevuto ad un circuito sintonizzato a parte, come è illustrato in **figura 5.** Con l'aggiunta di tale circuito selettore, la selezione può essere considerata una funzione a sè stante, indipendente dalla sintonizzazione dell'antenna. La funzione che quest'ultima acquista allora è principalmente quella di mezzo « captatore » delle radioonde.

L'uso di un trasformatore, qual'è l'assieme dei circuiti sintonizzati ora visti, comporta appunto un miglioramento sia della sensibilità che della selettività. Esso isola il circuito sintonizzato dalla resistenza dell'antenna: la sintonizzazione del circuito aggiunto può essere ottenuta, come è logico, variando anche qui o l'induttanza, o la capacità, o entrambe.

Rivelazione

La rivelazione consiste, come abbiamo già avuto modo di accennare, nel separare le frequenze udibili dal segnale a radiofrequenza modulato. Nel circuito del più semplice ricevitore illustrato dalla **figura 6**, tale funzione è realizzata mediante l'uso di un rivelatore a cristallo. Alla nostra 8ª lezione si è visto già, per sommi capi, il funzionamento di un rivelatore del genere.

La rivelazione è l'opposto della modulazione, per cui a volte viene chiamata « demodulazione ». Consiste, nel citato ricevitore, nel separare la modulazione di ampiezza dal « mezzo di trasporto » costituito dalla radiofrequenza; il sistema per separare dall'A.F. la modulazione di frequenza è alquanto differente, e verrà descritto più avanti. Riassumiamo intanto quanto abbiamo già esposto a suo tempo sulla rivelazione della modulazione d'ampiezza.

Tutti i rivelatori sono essenzialmente dei « raddrizzatori ». Il rivelatore a cristallo illustrato nella figura 6 ha una conduttività apprezzabile in una sola direzione, per

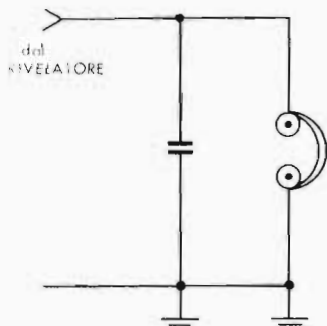
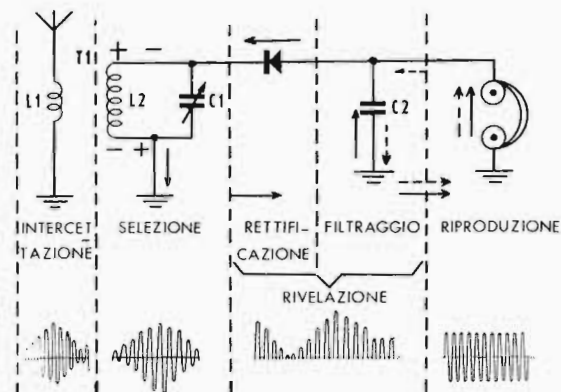



Fig. 7 — In parallelo al riproduttore di cui allo schema di figura 6, viene collegato sempre un condensatore che completa l'azione di filtraggio svolta dalla bobina del riproduttore stesso.

Fig. 8 — Analisi del ricevitore semplice e rappresentazione, in basso, delle onde e delle loro variazioni attraverso l'apparecchio. Le frecce tratteggiate indicano il percorso della corrente quando il cristallo non conduce.

cui, allorchè viene collegato al circuito selettore, il cristallo si comporta come un raddrizzatore; la corrente che esso fornisce è continua e pulsante, con pulsazioni corrispondenti a quelle dell'Alta Frequenza (tagliate a metà), ma presentanti un'ampiezza corrispondente a quella delle pulsazioni di Bassa Frequenza (modulazione).

Ciò costituisce il primo passo della rivelazione. Il processo viene completato con l'applicazione di un sistema di filtraggio della c.c. pulsante che, nel circuito al quale ci riferiamo, è costituito in parte dalle bobine presenti nella cuffia. Esse infatti oppongono minima impedenza alla frequenza audio, mentre ne oppongono una altissima all'Alta Frequenza. Un condensatore collegato in parallelo alla cuffia (**figura 7**) completa il filtro: esso offre poca impedenza alla radiofrequenza ma alta impedenza (dato il suo basso valore) alla Bassa Frequenza. Il condensatore devia perciò le pulsazioni ad Alta Frequenza, mentre quelle a frequenza udibile passano attraverso la cuffia.

Riproduzione

La corrente che scorre attraverso le bobine della cuffia varia con un ritmo che rientra nella gamma delle frequenze udibili. Se si fa in modo che essa possa imprimere all'aria le medesime oscillazioni, queste si trasformano in suono. Per la riproduzione del suono si sfrutta l'energia del campo magnetico che sussiste intorno a dette bobine. La forza del campo magnetico varia col variare della corrente e può costringere un diaframma metallico a muoversi ed a vibrare con la medesima frequenza. Ciò provoca vibrazioni dell'aria circostante producendo onde sonore corrispondenti.

ANALISI del FUNZIONAMENTO di un SEMPLICE RADIORICEVITORE

Il diagramma schematico della **figura 8** ci può aiutare nell'analisi di un semplice radioricevitore. In questo circuito sono raggruppati tutti gli elementi e le funzioni di cui abbiamo sin qui discusso. I punti principali da considerare nell'analisi sono i seguenti: quali sono i componenti essenziali? - Qual'è il compito di ognuno di essi? - Quali modifiche subiscono le onde radio passando attraverso il ricevitore?

L'illustrazione mostra il collegamento convenzionale tra i vari elementi. Nella figura, in basso, vi è inoltre una rappresentazione grafica delle onde e delle loro variazioni, man mano che le stesse attraversano il ricevitore.

Quando un'onda radio viene intercettata dall'antenna, nell'antenna viene indotta una tensione a radiofrequenza, che conseguentemente appare al primario di T_1. Il flusso di corrente nel primario di T_1 (L1) induce una corrente della medesima frequenza nel secondario (L2). Il trasformatore di antenna (detto anche trasformatore d'aereo) è avvolto su un supporto con nucleo ad aria, ma spesse volte anche su supporto con nucleo di apposito materiale magnetico per radiofrequenza: il rapporto di trasformazione è in salita e ciò permette un lieve aumento di ampiezza del segnale ricevuto.

Il secondario di T_1 (L2) fa parte di un circuito sintonizzato in serie costituito da L_2 e da C_1. La corrente che circola in un circuito sintonizzato in serie, abbiamo visto alla nostra 34ª lezione, raggiunge il valore massimo quando la frequenza applicata corrisponde a quella di risonanza del circuito stesso. Inoltre, poichè a questa frequenza corrisponde la massima corrente, si sviluppa anche la massima tensione reattiva ai capi di ogni componente.

Allo scopo di ottenere la massima potenza di uscita dalla cuffia, è necessario applicare al rettificatore, ed al circuito di C_2 e della cuffia, la massima tensione. Ciò si traduce in un massimo di corrente attraverso la cuffia stessa, e, poichè essa è un dispositivo per corrente, si avrà la massima resa acustica.

Il circuito sintonizzato (L_2-C_1) si presenta nel suo assieme come un circuito in parallelo nei confronti del raddrizzatore e della cuffia in parallelo a C_2, ed una delle caratteristiche di un circuito in parallelo alla frequenza di risonanza, è che ai suoi capi si sviluppa la massima tensione.

La polarità della tensione presente tra i terminali di L_2 varia col variare della tensione del segnale in arrivo. Quando si ha il più alto valore positivo, la corrente scorre nel circuito nel senso indicato dalle frecce a tratto intero (figura 8). Quando si ha il picco negativo, il cristallo non permette il passaggio della corrente, e il condensatore si scarica nel senso indicato dalle frecce tratteggiate. In tal modo, la forma d'onda viene rettificata, ed il segnale si trasforma in c.c. pulsante. È opportuno notare che le pulsazioni così ottenute portano ancora l'im-

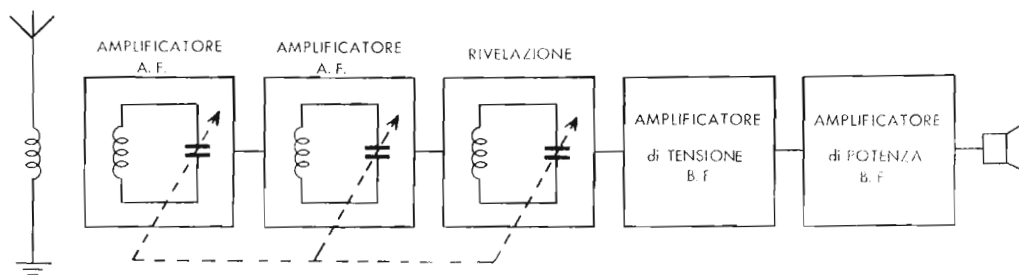



Fig. 9 — Oltre ai componenti indispensabili, un ricevitore che debba consentire una ricezione confortevole di più stazioni in altoparlante, deve possedere circuiti e stadi supplettivi. Così, con circuiti sintonizzati si migliorerà la selettività, con stadi di amplificazione in Alta Frequenza la sensiblità, con stadi di amplificazione in Bassa Frequenza la potenza. Per comodità di impiego, i diversi condensatori variabili sono uniti in un unico comando (linee tratteggiate).

pronta della modulazione, dopo il filtraggio, ma ciò non influisce sulla loro intelleggibilità.

Il condensatore C_2 fa parte del filtro, ed è di piccola capacità: generalmente dell'ordine di 250 pF. Esso filtra la componente a radiofrequenza della corrente continua pulsante: mentre si carica durante il semiperiodo in cui il cristallo conduce, si scarica in parte durante il semiperiodo opposto, quando cioè il cristallo non conduce. Nella sua carica e scarica, esso assorbe quasi tutte le fluttuazioni degli impulsi a radiofrequenza, e segue l'andamento dell'inviluppo di modulazione, come è illustrato in basso nella figura.

La cuffia — abbiamo testè visto — converte gli impulsi di corrente in onde sonore grazie alla applicazione del principio dell'elettromagnetismo. Ognuno dei padiglioni contiene due bobine, un magnete permanente a forma di « U » che costituisce il nucleo di dette bobine, ed un diaframma flessibile detto « membrana » posto innanzi ai due bracci della « U ». Quando la corrente scorre attraverso le bobine, si sviluppa un campo magnetico variabile, la cui intensità determina una maggiore o minore attrazione della membrana. Quando l'intensità del campo magnetico diminuisce, la membrana si allontana, e viceversa; le vibrazioni meccaniche così prodotte creano le onde sonore cioè onde intelleggibili.

LIMITAZIONI di un RADIORICEVITORE SEMPLICE

Il tipo di radioricevitore fin quì descritto ha notevoli limitazioni. Anzitutto, vi è un solo circuito sintonizzato atto a migliorare la selettività dell'antenna. Il leggero rapporto in salita del trasformatore d'aereo aumenta di ben poco la sensibilità. Ciò limita l'efficienza di tale ricevitore alla sola ricezione di forti segnali provenienti da stazioni emittenti locali o comunque molto vicine. Per gli altri segnali, di intensità minore, la corrente proveniente dal rivelatore non ha un'intensità sufficiente per creare dei campi magnetici intorno agli avvolgimenti della cuffia, atti a produrre le vibrazioni acustiche della membrana.

Un ricevitore di più utile impiego necessita perciò di più dei componenti indispensabili. Esso deve comprendere circuiti e stadi capaci di migliorare il funzionamento sia dal punto di vista della selettività che da quello della sensibilità. Per migliorare la prima occorre un maggior numero di circuiti sintonizzati: per migliorare la seconda occorrono degli stadi di amplificazione a radiofrequenza. Esso necessita inoltre (come abbiamo spiegato nella nostra lezione 8ª) di stadi di amplificazione ad audiofrequenza onde aumentare la potenza di uscita in modo da permettere l'uso di un altoparlante, in luogo della cuffia, per riprodurre i suoni. Un esempio di questo tipo di ricevitore è illustrato nello schema funzionale della **figura** 9; in essa è schematizzato, per sommi capi, un ricevitore a « stadi accordati »; tali stadi componenti saranno oggetto ora di una nostra prima analisi.

RICEVITORI a STADI ACCORDATI

Il ricevitore elementare descritto nelle pagine precedenti, può essere classificato come ricevitore ad un solo stadio, in quanto nè l'antenna, nè la cuffia (che rispettivamente precedono e seguono il rivelatore) costituiscono uno stadio propriamente detto. Il ricevitore a « stadi accordati » è invece un ricevitore a più stadi. Come si vede nello schema a blocchi della figura 9, lo stadio rivelatore dell'apparecchio è l'equivalente dello stadio singolo del ricevitore semplice. Il ricevitore a « stadi accordati », infine, è un ricevitore che può essere definito completo in quanto è provvisto di due stadi amplificatori a radiofrequenza, di uno stadio d'amplificazione di tensione ad audiofrequenza, e di uno stadio di amplificazione di potenza. Le sue prestazioni sono notevolmente superiori a quelle del ricevitore monostadio; la differenza essenziale consiste nell'impiego di « valvole » amplificatrici o comunque di altri dispositivi di amplificazione (ad esempio, « transistori »). Col loro aiuto viene esteso il numero delle funzioni del ricevitore.

In ordine progressivo, il segnale compie in esso i seguenti passaggi: intercettazione, selezione, amplificazione a radiofrequenza, rivelazione, amplificazione ad audiofrequenza, ed infine, riproduzione. L'amplificazione, sia ad Alta che a Bassa Frequenza, costituisce l'enorme vantaggio conseguito con l'uso delle « valvole ». Vedremo, tra alcune lezioni, i principii di funzionamento delle « valvole » e, naturalmente, le loro più svariate applicazioni atte a sfruttarle in molteplici impieghi: successivamente, eguale cosa faremo nei confronti dei « transistori ».

CIRCUITI di ANTENNA

I circuiti di accoppiamento d'aereo usati nei ricevitori a « stadi accordati » sono analoghi a quelli descritti nel-

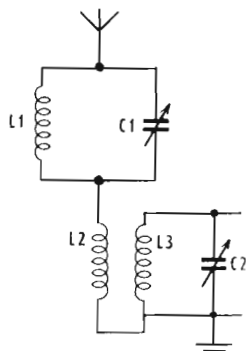



Fig. 10 A — Circuito trappola in parallelo, posto in serie al primario d'antenna: migliora la selettività.

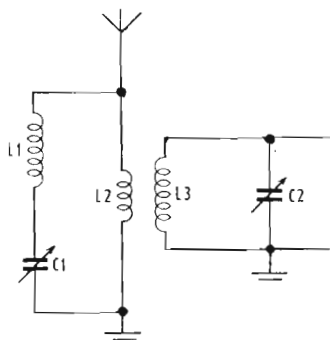



Fig. 10 B — Circuito trappola in serie, posto in parallelo al primario d'antenna: serve allo stesso scopo dell'altro.

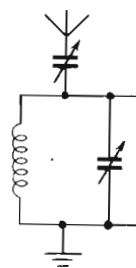



Fig. 11 — L'antenna, a volte, è accoppiata al circuito sintonizzato di accordo a mezzo di una capacità variabile che adatta l'impedenza dell'antenna stessa a quella di entrata dello stadio.

l'analisi del ricevitore elementare, pur essendo, in un certo senso, maggiormente elaborati. L'energia a radiofrequenza intercettata dall'antenna, viene applicata al primo stadio di amplificazione e, per essere più esatti, alla sua valvola. Nella maggiore parte dei casi, si usa a tale scopo un trasformatore di accoppiamento, il quale offre il vantaggio di consentire già un certo guadagno nei riguardi del segnale, dato che il trasformatore è a rapporto elevatore.

A volte, unitamente, ai trasformatori di accoppiamento, si usano dei « circuiti trappola ». Questi ultimi sono dispositivi (filtri) inseriti per eliminare i segnali indesiderati di una emittente vicina o comunque molto potente, segnali che potrebbero impedire la ricezione di quelli che si desidera ricevere, provenienti da stazioni lontani o più deboli. Come è illustrato nella **figura 10,** detti circuiti trappola, possono essere del tipo in parallelo o del tipo in serie; il loro impiego, in effetti, aumenta notevolmente la selettività.

Nella sezione **A** della figura, si può notare che L_1 e C_1 costituiscono un circuito in parallelo risonante e sintonizzabile, che, come tale, oppone la massima impedenza alla frequenza sulla quale è sintonizzato, ossia la frequenza del segnale indesiderato. Così, esso respinge tale segnale. La corrente che scorre verso L_2 — e di conseguenza la tensione che si sviluppa ai capi del circuito sintonizzato può essere presente per tutte le frequenze ad eccezione di quella respinta; L_3-C_2 può perciò scegliere le frequenze desiderate.

Nella sezione **B**, L_1 e C_1 formano invece un circuito risonante in serie. Esso presenta la minima impedenza alla frequenza sulla quale è sintonizzato, e tale sintonizzazione viene fatta corrispondere a quella del segnale non desiderato. Detto circuito risonante in serie convoglia verso terra il segnale scartato, ma, contemporaneamente presenta un'alta impedenza nei confronti delle altre frequenze. Le correnti corrispondenti a queste ultime passano attraverso L_2, ed il circuito accordato costituito da L_3-C_2 può scegliere una tra di esse.

A volte si usa l'accoppiamento con l'antenna anche mediante una capacità (accoppiamento capacitivo) — in particolar modo, con una capacità variabile — come è illustrato alla **figura 11.** In essa si vede infatti che i segnali provenienti dall'antenna vengono applicati al circuito di sintonia attraverso un condensatore variabile, il quale permette di adattare l'impedenza dell'antenna a quella di entrata di una « valvola », onde ottenere il massimo del segnale d'entrata.

Molti ricevitori di tipo moderno sono basati sull'impiego di una antenna che si può definire « a telaio », che è come quella illustrata schematicamente in **figura 12.** Detto « telaio » costituisce un circuito sintonizzato in quanto la sua induttanza, combinata con la capacità del condensatore variabile, permette la sintonia sulle varie frequenze. Si ricorre spesso, per questo impiego, a bobine come quelle illustrate alle figure 14 e 15 a pagina 229, che adottano un nucleo di apposito materiale ferromagnetico per Alta Frequenza. Ricordiamo che con l'impiego di tali tipi di antenna si verifica uno spiccato effetto direttivo nei confronti dell'orientamento dell'antenna stessa.

CONSIDERAZIONI sui CIRCUITI ACCORDATI

Prima di compiere uno studio dettagliato sui vari stadi a circuiti accordati, è bene analizzare il comportamento dei circuiti accordati stessi. Essenzialmente, essi non differiscono dai circuiti sintonizzabili di cui ci siamo già occupati.

Riferendoci alla formula della frequenza di risonanza precedentemente enunciata,

$$F\ (\text{MHz}) = \frac{159}{\sqrt{LC}}$$

notiamo che essa dipende dai valori di L e di C. L'aumento di uno di questi due valori determina una diminuzione della frequenza di risonanza. La diminuzione del valore di L o di C aumenta la frequenza di risonanza. Infine, la variazione di entrambi i valori può o meno corrispondere ad una variazione della frequenza di risonanza: ciò dipende dal fatto che sia o meno variato il prodotto di L per C. Infatti, come abbiamo studiato a proposito dei circuiti risonanti, se i due componenti vengono variati in modo tale che il loro prodotto rimanga costante, rimarrà costante anche la frequenza di risonanza.

Per la medesima frequenza, si può avere perciò un valore alto di L e basso di C, o viceversa.

Ricordiamo, tuttavia, che il rapporto L/C è importante agli effetti del fattore di merito Q in un circuito sintonizzato. Dal momento che $Q = Z:R$, il rapporto tra l'impedenza e la resistenza influisce sul valore di Q.

Se la resistenza rimane costante, l'aumento di L e la diminuzione di C dà un rapporto maggiore tra impe-

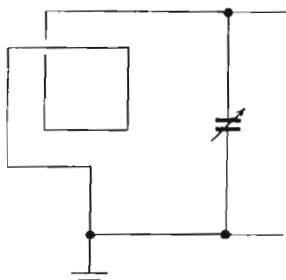



Fig. 12 — Una particolare esecuzione di antenna è quella cosiddetta « a telaio ». Essa è, in sostanza, l'induttanza di accordo sviluppata costruttivamente sì da assumere la funzione di organo captatore.

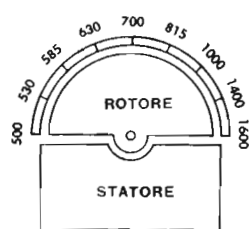



Fig. 13 A — Condensatore a variazione lineare di capacità. Sulla curva esterna è indicato l'andamento delle frequenze per la gamma delle onde medie.

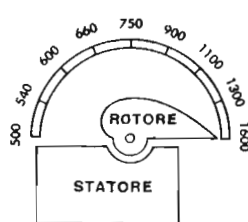



Fig. 13 B — Condensatore a variazione lineare di lunghezza d'onda. All'esterno si può notare il diverso andamento delle frequenze rispetto alla figura A.

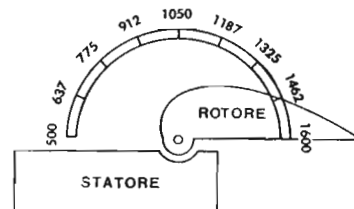



Fig. 13 C — Condensatore a variazione lineare di frequenza. La distribuzione delle frequenze è, evidentemente, la più comoda per un'equa distribuzione sulla scala.

denza e resistenza, e quindi un valore più alto di Q. Una diminuzione di L ed un aumento di C, dà un rapporto minore e quindi un fattore di merito più basso.

Un alto valore di Q, come sappiamo, ha per conseguenza una curva di sintonizzazione più acuta ed un rendimento maggiore, il che comporta un miglioramento sia della selettività che della sensibilità. Si tenga però presente che se il valore di Q è troppo alto, la sintonia può risultare talmente critica da causare l'eliminazione di una parte delle bande laterali necessarie e dovute alla modulazione, e ciò significa introduzione di una certa distorsione, vale a dire deformazione del segnale originale.

Da tutto questo è facile dedurre che il calcolo di un circuito accordato negli appositi termini di L, C ed R è di notevole importanza.

Normalmente, i circuiti di sintonia nei ricevitori a stadi accordati sono tutti sintonizzabili mediante l'uso di condensatori variabili. Questi ultimi sono accoppiati meccanicamente in modo tale che è possibile variarne la capacità contemporaneamente mediante un unico comando. Il fatto che le capacità siano variabili facilita, ovviamente, la sintonizzazione su una qualsiasi frequenza desiderata. La possibilità, inoltre, di variare le capacità entro definiti limiti permette al ricevitore di « coprire » una determinata gamma di frequenze.

Un ulteriore mezzo di sintonia è costituito dall'uso di induttanze variabili, le quali possono essere accoppiate tra loro meccanicamente, come avviene per i condensatori, ma abbiamo già detto, alle lezioni dedicate a questi organi, come questo sistema sia usato solo eccezionalmente. Possiamo concludere che i circuiti di sintonia usati nei ricevitori a stadi accordati sono fondamentalmente eguali a quelli di cui ci siamo già occupati, tuttavia è da notare che le loro parti componenti sono realizzate in precisa conformità alle specifiche esigenze dei ricevitori.

Quanto abbiamo diffusamente detto alle apposite lezioni sulle induttanze e sui condensatori ha reso edotto il lettore in merito alle funzioni di tali organi ed alle caratteristiche che essi devono possedere per l'impiego diretto nelle apparecchiature radio. Aggiungeremo ora qualche ulteriore cenno, specialmente nei riguardi dei condensatori variabili, affinchè sia meglio compresa la particolare tecnica dell'allineamento o taratura, di quell'operazione cioè che viene effettuata nei ricevitori a più stadi onde semplificare i successivi accordi dei diversi circuiti sintonizzati.

Condensatori variabili

I condensatori variabili necessari ai circuiti di sintonia a radiofrequenza sono organi, in linea di massima, relativamente voluminosi. Le lamine, sia del rotore che dello statore, generalmente sono di alluminio, ma, nei ricevitori di qualità migliore e professionali, si usano a volte condensatori variabili con lamine di ottone argentato onde ottenere una maggiore conduttività nei confronti dell'Alta Frequenza.

L'andamento della curva di variazione di capacità di un condensatore variabile dipende (si è già fatto cenno a ciò) dalla posizione dell'albero rispetto alle lamine o, per essere più esatti, dalla forma delle lamine costituenti il rotore, come è illustrato alla **figura 13.**

Agli effetti della taratura, i condensatori variabili possono essere divisi in tre categorie: a variazione lineare di capacità, a variazione lineare di lunghezza d'onda, ed a variazione lineare di frequenza.

Nel primo caso la capacità varia in proporzione diretta con l'angolo di rotazione. Dato che la frequenza non aumenta in proporzione diretta alla diminuzione di capacità, ne risulta che in un ottavo dell'intera rotazione viene ad essere contenuta circa la metà più alta della gamma di frequenza sintonizzabile.

Nel secondo tipo, la lunghezza d'onda varia in maniera direttamente proporzionale al variare dell'angolo di rotazione. La metà più alta della gamma di frequenza è contenuta allora in un terzo della rotazione totale.

Nel terzo caso infine, poichè è la frequenza che varia in proporzione diretta con l'angolo di rotazione, si ottiene una distribuzione lineare delle frequenze sul quadrante. Con questo tipo di condensatore variabile la curva di sintonia è costante, vale a dire lineare sull'intera gamma.

Di norma, un ricevitore a stadi accordati potrebbe includere qualsiasi numero di stadi di amplificazione ad Alta Frequenza, ma, di solito, essi non sono mai più di tre. Il numero dei circuiti accordati è sempre superiore di una unità rispetto a quello degli stadi di amplificazione. Naturalmente, detto circuito extra è quello che si trova all'ingresso dello stadio rivelatore. Quando i circuiti sintonizzati sono controllati da condensatori variabili, è di grande vantaggio e praticità che il comando che li aziona sia unico, e ciò viene ottenuto, come sappiamo, a mezzo di condensatori multipli. In tal caso, le singole unità sono montate su di un unico albero ed i rotori sono solidali tra loro. Le lamine di separazione, collegate a

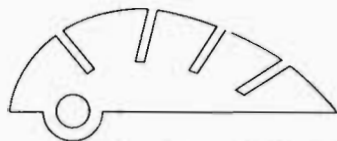



Fig. 14 — Le lamine esterne dei condensatori variabili multipli presentano piccoli settori inclinabili che permettono una modifica della capacità in dati punti.

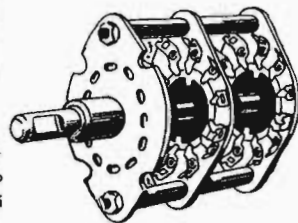



Fig. 15 — Commutatore multiplo del tipo spesso adottato per commutare le gamme di onda.

Fig. 16 — Aspetto di un « Gruppo di Alta Frequenza ». Si possono scorgere le numerose bobine ed il commutatore.

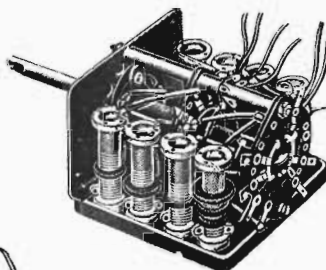
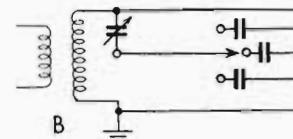
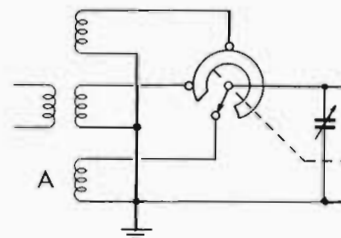



Fig. 17 — In A, commutazione di diverse induttanze in parallelo ad un unico condensatore; in B, commutazione di capacità per un'unica induttanza.

massa, agiscono da schermo nei confronti dei campi elettrostatici dei diversi statori, che non devono influenzarsi reciprocamente.

È praticamente impossibile costruire dei condensatori variabili multipli aventi sezioni di capacità rigorosamente eguali. Analogamente, è difficile fare in modo che in ogni sezione si verifichi una identica variazione in seguito alla rotazione: la minima flessione di una sola lamina provoca, evidentemente, una variazione della capacità nella sezione in cui si verifica e solo in quella. Tuttavia, per il migliore risultato finale, è indispensabile che le varie sezioni siano « allineate », ossia che mantengano capacità eguali tra loro per ogni angolo di rotazione.

Per compensare le differenze iniziali, ogni sezione è (direttamente o indirettamente) munita di una piccola capacità supplementare, regolabile mediante l'uso di un cacciavite, vale a dire di uno di quei « compensatori » che abbiamo visti a pagina 256 (lezione 32ª), normalmente collegati in parallelo alla sezione stessa.

Per rendere possibili invece le ulteriori regolazioni, le lamine esterne del rotore di ogni sezione sono provviste di speciali intagli, come è illustrato alla **figura 14,** ciò che permette di piegare una piccola parte della lamina verso la lamina più vicina dello statore, oppure di piegarla in senso opposto, a seconda che in quel dato punto della rotazione sia necessario aumentare o diminuire la capacità della sezione per ottenere, in tutti i condensatori accoppiati le medesime capacità di posizione.

Commutazione di gamma

Spesso i ricevitori a stadi accordati funzionano su diverse gamme di frequenze. Il passaggio da una gamma all'altra comporta la necessità di una commutazione da una serie di circuiti accordati ad un'altra.

Generalmente, la serie di circuiti ulteriormente inserita è formata in parte da quella precedente, con la sola sostituzione di un componente, ossia della induttanza *L* o della capacità *C*. Poichè i condensatori variabili sono tra gli organi più ingombranti, è accorgimento di praticità usarne il meno possibile. Per passare da una gamma all'altra, si preferisce perciò sostituire le bobine. Tale provvedimento può essere realizzato mediante l'impiego di bobine intercambiabili oppure mediante l'uso di un commutatore. In questo secondo caso, su di un unico supporto per bobina si possono predisporre i diversi avvolgimenti relativi a due, tre o più gamme d'onda. Il commutatore usato per la commutazione di gamma è del tipo illustrato dalla **figura 15**. Il suo compito consiste nel collegare alla sezione del condensatore il terminale dell'induttanza adatta alla gamma scelta, e, contemporaneamente, nel collegare a massa tutti gli altri avvolgimenti affinchè non influenzino quello in funzione. Il commutatore ha più sezioni: allorchè viene ruotato, i contatti di ogni sezione predispongono i dovuti inserimenti: ogni posizione di rotazione di detto commutatore corrisponde così alla scelta di una gamma di frequenza. Quando bobine e commutatore e, assai spesso, compensatori, vengono meccanicamente montati assieme, in una unità a se stante, si ha ciò che correntemente viene detto *Gruppo di Alta Frequenza* (**figura 16**). Vedremo più avanti il grande vantaggio di una tale soluzione.

Alla **figura 17** si può notare lo schema elettrico di due sistemi di commutazione: nella sezione **A** si vede come è possibile inserire varie bobine in un circuito provvisto di un solo condensatore: nella sezione **B** si nota come è possibile commutare diverse capacità in serie ad un condensatore variabile.

CIRCUITI per ONDE CORTISSIME ed ULTRACORTE

L'uso del circuito accordato normale, ossia come l'abbiamo inteso sinora, composto da un apposito organo capacitivo e da altro apposito, induttivo, si è dimostrato di scarsa praticità nelle gamme di frequenze molto elevate. A tali frequenze, denominate nelle loro gamme VHF ed UHF (vedi pagina 19) sia *L* che *C* acquistano valori talmente bassi che già i conduttori di collegamento possono avere un'induttanza maggiore della stessa bobina, e la capacità distribuita o propria dell'avvolgimento può essere maggiore di quella necessaria per il condensatore variabile. Ne consegue che, in tali condizioni, la sintonia è impossibile. Per ottenere la sintonia su frequenze al disopra di 100 MHz si fa ricorso allora a sezioni risonanti di cosiddette « linee di trasmissione ».

Una linea risonante sul quarto di lunghezza d'onda è provvista di propria capacità e induttanza, e può essere considerata un circuito sintonizzato. Questo tipo di circuito sintonizzato è stato qui accennato data la grande importanza che sempre più queste altissime frequenze vanno acquistando; di esso ci occuperemo analiticamente in seguito, quando affronteremo l'argomento delle apparecchiature per onde VHF ed UHF.

NUOVI RADIORICEVITORI SEMPLICI

Chi ci segue, conosce oramai assai bene il criterio al quale ci atteniamo nella compilazione del presente Corso. Accanto alla graduale esposizione della teoria — che porta ad un esame sempre più approfondito e completo dei fenomeni e delle leggi che li governano — una varia, e anch'essa graduale, illustrazione di realizzazioni rende notevolmente più efficace e più vivo lo studio della materia, avendo il grande pregio di porre il lettore a contatto con la pratica applicazione e con l'uso dei procedimenti e del materiale. Per questo motivo, così come abbiamo promesso alla nona lezione, nella descrizione di due semplicissimi radioricevitori, riprendiamo l'argomento per dar modo di migliorare quelle costruzioni ed affrontarne poi altre un pochino più complesse. La situazione si presenta però, come allora, con la necessità di applicare tecniche ed organi non ancora illustrati; tuttavia, come allora, questo fatto non impedirà di familiarizzare con le nuove parti facendo, per così dire, la conoscenza con il loro impiego, con le loro caratteristiche, con le loro prerogative e, principalmente, con i vantaggi che da esse derivano alla tecnica elettronica in generale.

Il cenno che abbiamo fatto nella lezione precedente, relativo alla assoluta necessità di una amplificazione dei segnali nel funzionamento di un radioricevitore, se si vuole pervenire a risultati più completi, vale a dire pratici, è significativo. Occorre — se vogliamo che le nostre realizzazioni di allora ci permettano più comode e più potenti ricezioni — che venga adottato un dispositivo capace di accrescere (amplificare) l'entità dei segnali, siano essi in Alta Frequenza, siano essi — dopo la rivelazione — in Bassa Frequenza. Tale dispositivo esiste da tempo ed è la **valvola termoionica**. Così, sarà nostra cura, evidentemente, spiegare il principio di funzionamento della valvola a tutte le sue numerose possibilità, in uno spazio adeguato all'importanza che quest'organo riveste. Egualmente faremo nei riguardi di un altro dispositivo amplificatore che in questi ultimi anni è venuto ad affiancarsi alla valvola: il **transistore**. Premesso ciò, non rinunciamo, come abbiamo detto, alla descrizione di stadi amplificatori, anche se l'organo al quale essi fanno ricorso deve essere ancora illustrato in tutto il suo complesso di leggi e di principi: ci basterà richiamare l'attenzione del lettore sulle più correnti norme di impiego, in modo che l'uso sia razionale e senza errori. Abbiamo scelto, per ora, tra la valvola ed il transistore, quest'ultimo, e diremo subito il perchè. La valvola necessita di un'alimentazione multipla, alquanto onerosa e spesso anche complessa: la valvola è anche relativamente ingombrante e fragile. Pur non essendo queste caratteristiche un vero ostacolo, tuttavia, poichè esse non sono proprie del transistore, la loro assenza ha fatto preferire lo stesso come mezzo più pratico per le nostre prime applicazioni sperimentali. Non possiamo però far impiegare i transistori senza avere, per lo meno in modo breve, esposto un primo cenno sul loro principio di funzionamento.

Il TRANSISTORE

Sappiamo bene ciò che è un conduttore di elettricità e ci sono noti i diversi metalli che eccellono in questa loro caratteristica: argento, rame, alluminio, ecc. Sappiamo pure che vi sono i materiali detti isolanti, che non conducono elettricità (mica, vetro, ceramica, ecc.). Occorre ora precisare che esiste anche una terza categoria di materiali, che non possono essere definiti buoni conduttori, ma tantomeno isolanti: essi sono i *semi-conduttori*.

Quando si adotta un conduttore, la corrente scorre allorchè viene applicata una tensione: quest'ultima, abbiamo visto a suo tempo, causa un movimento di elettroni lungo il conduttore. Se si usa invece un semi-conduttore, la sola applicazione della tensione può non essere sufficiente a provocare il flusso della corrente: in tal caso, l'intervento di altre condizioni fisiche, ad esempio luce, calore, ulteriore campo elettrico, o una impurità nel materiale, potranno consentire il passaggio di corrente. I più comuni tra i semi-conduttori di detto tipo sono il germanio, il silicio ed il selenio: i primi due sono quelli generalmente prescelti per formare i transistori.

In opposizione al classico flusso elettronico, si può avere conduzione anche a mezzo di *buchi* o *cavità*. Una « cavità » si forma allorchè un gruppo di atomi (molecola) perde un elettrone. La molecola mancante di un elettrone, può prenderne uno da un'altra, ad essa prossima ed elettricamente neutra, lasciando così la seconda molecola con una lacuna o cavità, e con una carica positiva. A questo modo, una cavità può trasferirsi attraverso la sostanza, passando da molecola a molecola e producendo un flusso di corrente che agisce proprio come se fosse un movimento di particelle a carica positiva. La **figura 1** illustra molto semplicemente il citato flusso di cavità.

Sebbene il flusso di corrente in una particolare sostanza possa consistere in un movimento sia di cavità che di elettroni, se il flusso prevalente ,è quello delle cavità, il materiale viene detto *portatore positivo* o semi-conduttore di **tipo p**. Se invece il flusso prevalente è costi-

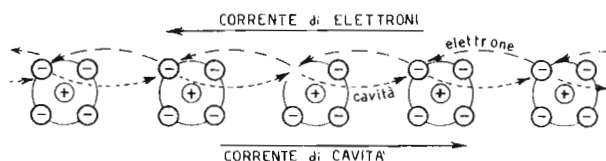



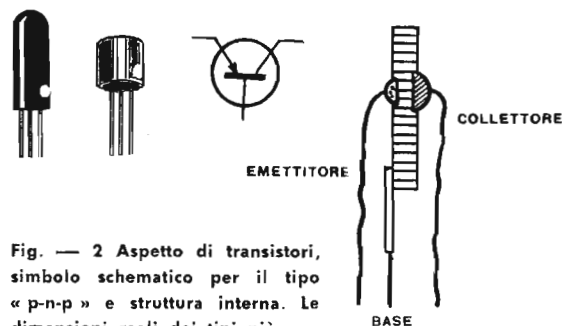
Fig. 1 — Se un elettrone viene a mancare ad una molecola, si crea in essa una « cavità ». La molecola mancante dell'elettrone può prenderne uno da una molecola vicina e neutra, nella quale viene a crearsi così la nuova cavità: si verifica in tal modo un trasferimento — attraverso la sostanza — di cavità, che produce un flusso di corrente pari ad un movimento di particelle a carica positiva. L'andamento di questo flusso è contrario a quello della corrente di elettroni.

Fig. — 2 Aspetto di transistori, simbolo schematico per il tipo « p-n-p » e struttura interna. Le dimensioni reali dei tipi più correnti corrispondono alle due prime illustrazioni. Una tacca colorata serve all'identificazione degli elettrodi.

tuito da movimenti di elettroni, il materiale è definito *portatore negativo* o semi conduttore di **tipo n.** Un transistore è formato dalla combinazione dei due citati materiali.

I diversi tipi di transistori sono in relazione al loro sistema costruttivo. Si conoscono così i tipi a punta di contatto, i tipi a giunzione, i tipi a diffusione, ecc. I primi, sono stati i primi anche in ordine di tempo, ma risultano oggi già superati per motivi di praticità, stabilità, ecc. dai tipi a giunzione e dagli altri. Diremo solamente di essi, che consistono in un piccolo cubo di materiale semi-conduttore sul quale appoggiano due diversi sottili fili conduttori a diretto contatto con la superficie (una struttura simile al rivelatore a cristallo di galena). Il materiale semi-conduttore reca un suo collegamento elettrico per cui si hanno tre connessioni: una ad uno dei fili che viene detto **emettitore**, un'altra all'altro filo, detto **collettore** e quella al cubetto di materiale, detto **base.**

Il transistore a giunzione presenta invece una struttura a strati (« sandwich ») di due diversi tipi di semiconduttori, vale a dire di tipi *p* od *n*, o viceversa. In uno strato interno si ha un materiale diverso da quello dei due strati esterni (uno per parte). Così, se lo strato interno è di materiale di tipo *p*, l'unità viene definita un transistore *n-p-n*: se lo strato interno è di materiale di tipo *n*, ne deriva un transistore *p-n-p*. Anche quì vi sono tre connessioni: una per ciascun strato esterno, (emettitore e collettore) ed una all'interno (base). La **figura 2** riporta disegni esplicativi e simboli riferiti a quanto abbiamo sin qui detto in proposito. Parleremo, a suo tempo, degli altri tipi di transistori, derivati dai successivi perfezionamenti dell'invenzione: per ora ci basti sapere che il transistore è un dispositivo capace di amplificare. Poichè, ripetiamo, un amplificatore è tale in quanto un piccolo segnale in esso entrante viene raccolto all'uscita più volte ingrandito (ciò si ottiene comandando col segnale entrante un grande ammontare di potenza fornita da una sorgente esterna), anche il nostro transistore in quanto capace di detta funzione può essere definito tale.

Accenneremo infine, che mentre nella valvola termoionica l'azione amplificatrice ha luogo con il controllo — a mezzo di una piccola tensione — di una corrente relativamente ampia, nel transistore il controllo della corrente ampia d'uscita è effettuato da una piccola corrente d'entrata. Per questo fatto si può dire che *la valvola è un amplificatore a comando di tensione* ed *il transistore un dispositivo amplificatore a comando di corrente.*

RICEVITORE A DUE STADI

Il miglioramento che ai due ricevitori descritti alla 9ª lezione può essere apportato con relativa semplicità di mezzi, consiste nell'aggiunta ai ricevitori stessi, così come progettati, di un ulteriore stadio amplificatore. Tale stadio è opportuno amplifichi il segnale già rivelato, ossia di Bassa Frequenza: in tal modo, alla cuffia (o, eventualmente, all'altoparlante) perverranno segnali di adeguata intensità per un più efficace funzionamento, in definitiva, per un ascolto più confortevole.

Il ricevitore non muta in alcun particolare per quanto si riferisce al suo preesistente circuito. L'unica variante in ciò è data dalla sostituzione del carico d'uscita: una resistenza viene inserita infatti in luogo della cuffia. Ai capi di tale resistenza (R, nello schema di **figura 3**) si avrà il segnale che già provocava il funzionamento dell'organo di riproduzione sonora e che ora costituirà il segnale d'entrata dello stadio amplificatore aggiunto.

Il lettore noterà che lo schema di questo nuovo apparecchio deriva dal primo, ossia del più semplice, dei due precedentemente descritti. Logicamente la sezione di rivelazione può essere quella dell'altro apparecchio (a due cristalli rivelatori). Ci siamo attenuti al più semplice perchè il vantaggio risultante dal secondo circuito nei confronti del primo, rimane attenuato dalla presenza della possibilità di amplificazione: se questa costruzione deve essere realizzata per la prima volta si può adottare senz'altro lo stadio rivelatore meno complesso, così come appare alla figura 3. In tal caso è molto opportuno, logicamente, leggere attentamente tutta la descrizione che ha formato oggetto della lezione 9ª e anche quanto è è stato scritto alla lezione 8ª.

Desiderando facilitare il compito relativo alla costruzione della bobina di induttanza, nel caso che sia difficile procurarsi il supporto nel diametro di 4 cm, come allora suggerito, riportiamo — nell'elenco del materiale occorrente — i dati di avvolgimento riferiti ad un diametro di 2,5 cm: il tubo di cartone bachelizzato di tale misura è forse più facilmente reperibile dell'altro. Vogliamo inoltre, aggiungere un particolare: sia nell'uno che nell'altro caso, ad apparecchio finito si perverrà si-

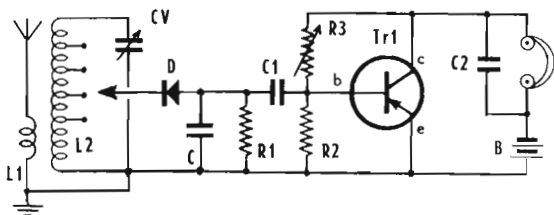



Fig. 3 — Ricevitore formato dallo stadio rivelatore e da uno stadio amplificatore di Bassa Frequenza, a transistore. Il partitore di tensione formato da R_3-R_2 permette, grazie alla possibilità di variare il valore di R_3, di polarizzare opportunamente la « base » per il più giusto valore di corrente del « collettore ». È necessaria una batteria, B, da 3 volt.

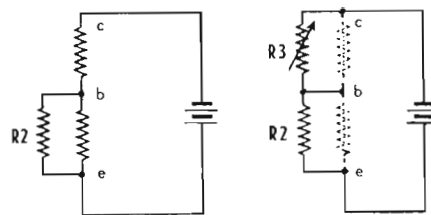



Fig. 4 A e B — Nel transistore esiste una determinata resistenza di contatto tra collettore e base: essa è qui raffigurata ed è indicata tra « c » e « b ». Un'altra resistenza è quella tra base ed emettitore (tra « b » ed « e »). Nel primo schema si intuisce come la corrente tra collettore e base (tra « c » e « b ») possa essere influenzata dal valore di R_2; nell'altro schema si osserva l'ulteriore influenza di R_3. Tutto ciò corrisponde a quanto riferito per lo schema di figura 3.

curamente alla ricezione di almeno una stazione. Per giudicare allora se il numero di spire avvolte è esatto si osserverà, conoscendo la frequenza della stazione ricevuta, in quale punto della rotazione del variabile essa si presenta: occorrerà fare, logicamente, una valutazione che sarà tanto più facile quanto più la stazione nota sarà prossima con la sua lunghezza d'onda ad uno dei due estremi di gamma. Se risulterà che la stazione viene sintonizzata a variabile troppo aperto si toglieranno alcune spire ad L_2 e, viceversa, si aggiungeranno se sembrerà che la localizzazione si effettui con inserimento di eccessiva capacità: in tal modo si correggerà automaticamente la gamma coperta che deve essere quella da 190 a 580 m circa di lunghezza d'onda.

Esaminiamo ora la parte aggiunta per renderci conto del compito che essa svolge e della funzione delle diverse parti che la compongono.

Lo stadio amplificatore

La tensione entrante, abbiamo già detto, è presente ai capi di R_1. Il circuito va esaminato tenendo presente che un collegamento diretto unisce da un lato tutti i componenti: si tratta, come è d'uso, del collegamento detto di « massa » che è il punto a potenziale comune alle diverse parti. Anche R_1 perciò è connessa a massa da un lato: il segnale è accoppiato tramite un condensatore, C_1. Il valore di questo condensatore è stato scelto in maniera da costituire una reattanza minima alle frequenze foniche passanti: la presenza di C_1 non costituisce perciò un ostacolo al trasferimento della Bassa Frequenza, mentre impedisce alla tensione di corrente continua, proveniente dalla batteria, di inoltrarsi al circuito del rivelatore ove creerebbe disturbo.

Abbiamo accennato alla batteria: è questo uno dei componenti nuovi — oltre, ben inteso, al transistore — che vediamo impiegato per la prima volta. Ricordando ciò che è stato detto un po' più sopra a proposito dei dispositivi di amplificazione, si intuirà che la batteria rappresenta la necessaria fonte che deve fornire la corrente al transistore, affinchè in esso possa svolgersi l'auspicato controllo, traducentesi in amplificazione.

Gli elettrodi del transistore sono tre: per aiutarne l'identificazione, sullo schema sono riportate le lettere iniziali della loro denominazione: base, emettitore, collettore. Il transistore può essere variamente disposto per quanto riguarda gli elettrodi al fine di sfruttarne le caratteristiche (vedremo ciò a suo tempo). Possiamo dire di trovarci qui in presenza di uno stadio con emettitore a massa, entrata sulla base (tra base e massa) e, naturalmente, uscita al collettore (tra collettore e massa); si ha evidentemente un elettrodo comune al circuito d'ingresso e d'uscita: l'emettitore. Il transistore adottato è del tipo *p-n-p*: per il suo corretto funzionamento, è necessario che l'emettitore riceva una piccola tensione (decimi di volt) positiva (rispetto alla base) ed il collettore una tensione negativa di alcuni volt. Il rapporto tra queste due polarizzazioni (che traggono origine dalla batteria *B*) è molto importante per la determinazione del miglior punto di lavoro del singolo transistore. Si è pensato perciò di ricorrere ad un accorgimento permettente di reperire tale punto in modo da poter pervenire con qualsiasi esemplare di transistore alle polarizzazioni più idonee, ed assicurarsi così, buoni risultati in ogni caso.

Occorre tener presente che le giunzioni del transistore rappresentano una determinata resistenza: così si ha una resistenza tra collettore e base ed un'altra tra base ed emettitore. Se colleghiamo in parallelo a ciascuna di dette resistenze un ulteriore elemento resistivo, possiamo, modificando i rapporti, variare la polarizzazione presente al punto centrale, ossia alla base. Ciò è chiaramente illustrato dalle **figure 4A** e **4B**. Nella prima risulta evidente anzitutto che la corrente attraversante il collettore (tra *c* e *b*) deriva dalla resistenza risultante dal parallelo di R_2 con la resistenza di contatto base-emettitore.

Nella seconda illustrazione appare R_3 che è una resistenza variabile: essa, forma con R_2 un partitore di tensione esterno al transistore. Variando il valore di R_3 varia la tensione presente nel punto di unione tra R_3 ed R_2, vale a dire la tensione di polarizzazione di base. Se R_3 è inferiore ad R_2 la polarizzazione è negativa, se in R_3 compare un valore più alto di R_2, la polarizzazione diventa positiva. La variazione di R_3 ci consente quindi di ottenere — come premesso — le giuste polarizzazioni in presenza di qualsiasi transistore, rimediando all'inconveniente derivante dalle differenze di caratteristiche che si riscontrano assai spesso tra i transistori anche dello stesso tipo.

Rileveremo, a conclusione di questi cenni sul transistore, che le variazioni di corrente nel circuito base-emettitore (circuito di ingresso) vengono riprodotte nel cir-

trasmissione, con intensità maggiore di quella ottenuta col solo rivelatore a cristallo.

Montaggio e messa a punto

Il numero dei componenti aggiunti è talmente esiguo, e le parti stesse così piccole, che risulta molto facile collocare il tutto sullo stesso pannello del precedente montaggio: riproduciamo a **figura 5** un esempio di realizzazione, cui corrisponde — come aiuto per una più pronta identificazione delle parti e, soprattutto per il controllo finale dei collegamenti — il disegno-schema di **figura 6**.

Il pannello, nel suo aspetto frontale, non subisce varianti in quanto i comandi restano immutati; l'organo aggiunto R_3 pur essendo variabile, va regolato una volta per sempre e perciò non occorre predisporre per esso alcun comando esterno.

Il suo albero sarà accessibile dal retro del pannello: non è previsto alcun bottone di comando, perchè è sufficiente ruotare un cacciavite il perno, nella fase di messa a punto, di cui si dirà.

Particolare cura va posta nelle saldature che riguardano il transistore. Anzitutto si individueranno i tre conduttori corrispondenti agli elettrodi, sulla scorta del disegno di **figura 7**: il punto rosso permette un sicuro riferimento. In secondo luogo, essendo i conduttori molto flessibili e quindi soggetti facilmente a venire in contatto tra loro o con altri organi, si prevederà un pezzettino di tubetto sterling per ognuno di essi. Lo sterling sarà infilato un momento prima di saldare il conduttore al circuito: quest'ultima operazione deve essere eseguita impiegando un paio di grosse pinze che, con la loro massa metallica, accelerano il raffreddamento del filo (**figura 8**). I transistori, più ancora dei diodi a cristallo, sono molto delicati su questo punto e non bisogna assolutamente insistere nel riscaldamento con l'operazione di saldatura: quest'ultima deve essere rapidissima.

Fig. 5 — Pannello recante tutto il montaggio dell'apparecchio. I tre conduttori uscenti dal transistore (Tr_1) sono ancorati ad una basetta: essi, per chiarezza di disegno, appaiono nudi, ma è opportuno, come è detto nel testo, che siano ricoperti di tubetto sterling. I conduttori A e B devono essere connessi alla batteria.

cuito del collettore con maggiore intensità, grazie evidentemente all'attitudine ad amplificare da parte del transistore stesso. La cuffia, inserita appunto in serie al collettore, riproduce — come risultato finale — la

Fig. 6 — Schema elettrico-pratico del ricevitore. Risulta molto utile per il controllo dei collegamenti e delle parti. Elenco del materiale occorrento:

1 tubo di cartone bachelizzato - diametro 2,5 cm - lunghezza 10 cm - Filo di rame smaltato, da 0,22 mm, 15 m circa. Per L1 = 20 spire; per L2 = 112 spire affiancate (tra L1 ed L2 = 4 mm).
1 condensatore variabile ad aria CV - capacità pF 365 (può anche essere da 500 cm - G.B.C. N° 0/132).
1 resistenza variabile - R3 - da 1 Megaohm - G.B.C. N. D 161.
1 cuffia magnetica - 1.000 o 2.000 ohm di impedenza.
1 batteria - B - da 3 volt.
1 diodo a cristallo di germanio - D - OA79 oppure 1N34.
1 condensatore a mica - C - da 250 pF.
1 resistenza fissa - R1 - da 100.000 ohm - 0,5 w.
1 resistenza fissa - R2 - da 10.000 ohm - 0,5 w.
1 condensatore fisso - C1 - da 0,5 µF - a carta.
1 condensatore fisso, a carta - - C2 - da 5.000 pF
1 transistore - Tr1 - OC 70 o similare.
Boccole, prese, squadrette e basette di fissaggio, viti, spine a banana, filo per collegamenti, tubetto sterling, stagno preparato.
1 manopola graduata o bottone ad indice, per CV.

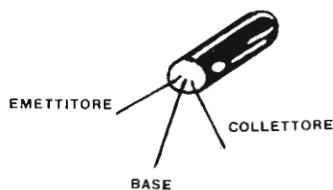



Fig. 7 — Gli elettrodi vengono individuati nei riferimenti di una tacca colorata che compare sulla custodia: dal suo lato è il collettore, la base è in centro, e l'emettitore dal lato opposto.

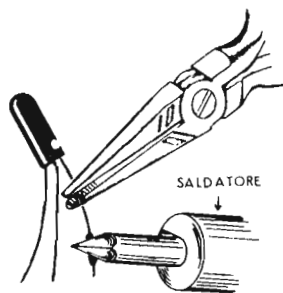



Fig. 8 — Le saldature degli elettrodi del transistore devono essere effettuate con rapidità. Per evitare la propagazione del calore all'interno, si ricorra ad una grossa pinza che con la sua massa disperde il calore propagantesi.

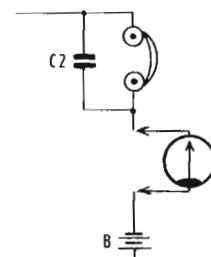



Fig. 9 — Disposizione provvisoria di misura per la lettura della corrente di collettore. Serve a controllare che, in seguito alla regolazione di R_3 (figura 3) la corrente venga portata al minimo senza sacrificio dell'intensità d'uscita

Controllati uno ad uno i nuovi collegamenti (a questo scopo, come abbiamo detto, è molto utile la figura 6 sulla quale si potranno contrassegnare mano a mano le fasi del riscontro) si potrà inserire nella sua presa, la cuffia. Con l'inserimento si invia automaticamente corrente al circuito del transistore e, anzi — dato il carattere, sempre sperimentale, del montaggio — si può usufruire di uno spinotto della cuffia come di un interruttore, per inserire e disinserire corrente, sì da risparmiare il consumo della batteria quando il ricevitore non è in funzione. Inizialmente tutto il valore di R_3 sarà incluso. Essendo mutate le condizioni di carico del diodo rivelatore, non sarà male sperimentare — effettuando la ricezione di una stazione — quale presa sull'induttanza L_2 offre i migliori risultati, agendo sempre anche sul condensatore variabile per rimanere nel punto esatto di sintonia.

Si provvederà poi alla determinazione della migliore polarizzazione del transistore, in modo da avere la massima amplificazione con un minimo di corrente al collettore. Occorre, per questa operazione, un « tester » in funzione di milliamperometro per corrente continua. Si sceglierà una portata di 5 mA a fondo scala: si estrarrà una spina della cuffia dalla presa (lato verso il polo negativo della batteria) e si inserirà in suo luogo il puntale « negativo » dello strumento. Si unirà il puntale « positivo » dello strumento con la spina della cuffia rimasta libera (si potrà usufruire per questo collegamento provvisorio di una presa a coccodrillo). In tal modo, il milliamperometro risulterà inserito in serie alla cuffia, il che è come dire, in serie al collettore, la cui corrente verrà così letta dallo strumento. La **figura 9** schematizza la disposizione provvisoria di misura.

Durante la ricezione di una stazione (il controllo sarà effettuato con la cuffia) si regolerà lentamente R_3 sino ad ottenere il minimo di corrente indicato dallo strumento pur avendosi sempre la più alta intensità sonora alla cuffia: si tratterà quasi sempre del valore di 1 milliampère circa. Trovata la giusta posizione di R_3 si staccheranno i puntali e si rimetterà al suo posto lo spinotto della cuffia. Occorre avvertire che, agli effetti della sensibilità di antenna, questo ricevitore consentirà un vantaggio minimo nelle zone in cui la ricezione era scarsa o nulla col solo rivelatore a cristallo: il transistore, nel nostro caso, non aumenta infatti la distanza dalla quale è possibile captare un trasmettitore, bensì la sola intensità dei segnali rivelati.

RICEVITORE A TRE STADI

Vista l'applicazione di uno stadio di amplificazione al ricevitore formato dal solo rivelatore, viene fatto di pensare, logicamente, all'aggiunta di un secondo stadio svolgente anch'esso analoga funzione nei riguardi del segnale già amplificato una prima volta. Ciò è fattibilissimo, ed è quanto descriveremo nelle note che seguono.

Basterà osservare lo schema di **figura 10** per rendersi conto della nuova aggiunta: i principi che la ispirano sono, in linea di massima, gli stessi che abbiamo riferiti parlando del primo transistore. Elettricamente, si vedrà molta analogia tra i due stadi e quando gli stessi si susseguono così come nel nostro caso, si suol dire che sono « in cascata ».

Così come per la prima aggiunta, il segnale da amplificare viene raccolto laddove esso prima poneva in funzione la cuffia: in altre parole, ciò che prima era « l'uscita » dell'apparecchio diventa ora « l'entrata » del nuovo stadio.

Il secondo transistore si differenzia dal primo perchè capace di una azione di maggiore potenza: le correnti che in esso possono circolare sono più elevate, ed il risultato ne è che il segnale amplificato è in grado di azionare un sistema riproduttore del suono meno sensibile (richiedente perciò maggiore potenza) ma assai più comodo della cuffia: l'altoparlante. È la prima volta che incontriamo questo organo, ma non è ancora qui il momento di descriverlo diffusamente: ci limiteremo a dire che in luogo di una piccola membrana (come avviene nella cuffia) viene posto in movimento, nell'altoparlante, un cono — assai più ampio — di carta speciale. Il cono reca nella parte del suo più piccolo diametro, un avvolgimento di poche spire detto « bobina mobile », immerso nel flusso magnetico di un magnete permanente. Se alla bobina mobile pervengono correnti di Bassa Frequenza, i flussi generati costringono il cono, che è solidale con la bobina, a muoversi di conseguenza, vale a dire a riprodurre meccanicamente gli impulsi elettrici, generando così il suono. Da questo brevissimo cenno si comprenderà che per il movimento del cono occorre assai più

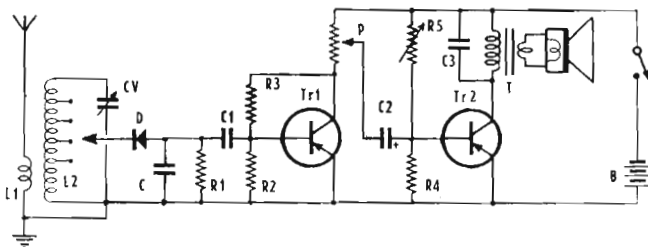



Fig. 10 — Ricevitore formato dallo stadio rivelatore e da due stadi, in « cascata », di amplificazione in Bassa Frequenza, a transistori. Il valore di R_3 viene determinato come è detto nel testo. R_5 è il regolatore di « volume ». È necessaria una batteria — B — da 6 volt.

energia che per il movimento della membrana della cuffia. Lo stadio che pilota l'altoparlante, in effetti, viene detto « stadio di potenza ».

Poichè le spire della bobina mobile sono necessariamente poche (più spire significano sempre maggior peso, e minore elasticità per il cono), l'impedenza che esse presentano è molto bassa. Da ciò deriva la necessità, con gli altoparlanti, di un trasformatore di impedenza, capace cioè di adattare l'impedenza della bobina mobile con quella dell'organo amplificatore d'uscita (transistore o valvola) che è sempre più alta di quella della bobina mobile. Nel nostro schema si individuerà in *T* detto trasformatore.

La funzione di R_5 è identica a quella di R_3 descritta per l'apparecchio precedente. Si noterà che ora R_3 è a valore fisso. Il valore fisso di R_3 deriva però dalla ricerca effettuata con la precedente resistenza variabile: allorchè si è trovato il migliore punto della resistenza variabile si può misurare il valore inserito a mezzo di un ohmetro e sostituire l'organo resistivo variabile con uno fisso di pari valore. Solo se, in un secondo tempo si dovesse sostituire il transistore, si dovrà ripetere la ricerca del valore a mezzo di una resistenza variabile.

Questa operazione, di determinazione del valore di R_3 — dobbiamo avvertire — non può essere quella già eseguita allorchè si aveva un solo stadio: è necessario ripeterla in considerazione del fatto che ora si è in presenza di una tensione di alimentazione più alta (6 volt della batteria in luogo di 3) e che invece della resistenza della cuffia si ha la resistenza di *P*.

In questo schema si ha un organo resistivo che non era presente nello schema precedente, *P*. Si tratta di un potenziometro il cui valore totale di resistenza (capi estremi) sostituisce, come si è detto, la cuffia dello schema precedente: dato che possiede un cursore è possibile, per la caratteristica dell'elemento stesso, prelevare tutto il segnale presente ai suoi capi o parte, sino a zero, con graduale variazione. Quando il cursore sarà per il massimo della rotazione consentita verso l'estremità collegata al collettore si disporrà di tutto il segnale: quanto sarà all'altro estremo non si avrà segnale perchè quel punto, corrispondente al polo negativo della batteria è, agli effetti della Bassa Frequenza, a potenziale zero (corrisponde cioè al collegamento comune di massa anche se

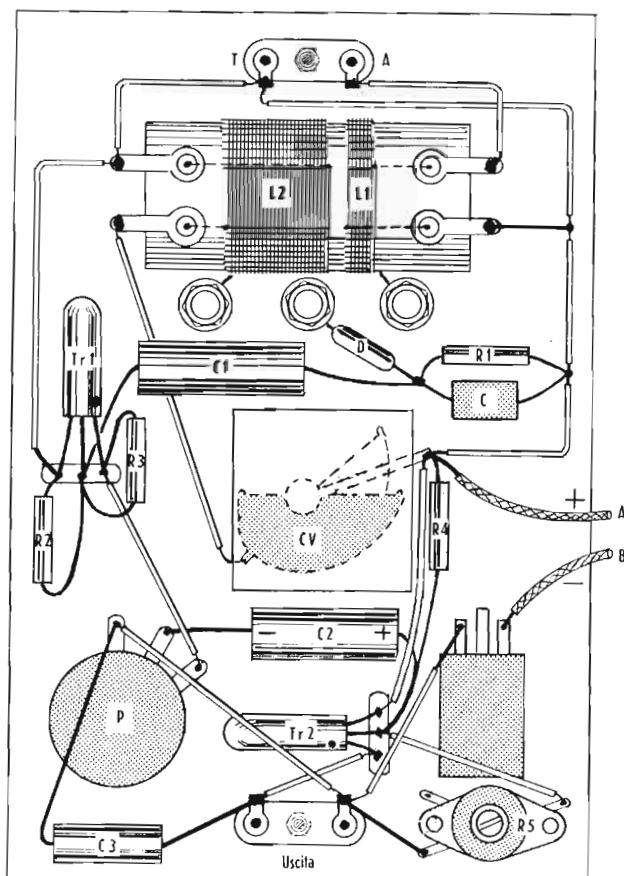



Fig. 11 — Sullo stesso pannello, di cm 10 per 15, suggerito per il ricevitore a 2 stadi, può essere contenuto anche questo ricevitore a 3 stadi. La batteria sarà collegata ai conduttori A e B. Il trasformatore per l'altoparlante è esterno.

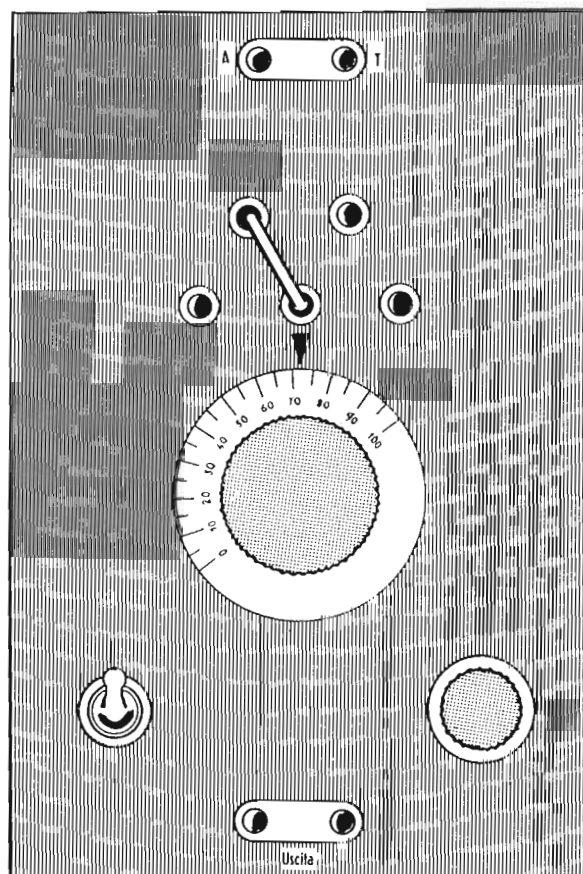



Fig. 11 bis — Il pannello di cui al montaggio a fianco, visto dalla parte frontale, con i diversi comandi. Questo pannello può essere di qualsiasi materiale isolante, anche di legno compensato, e può fungere da coperchio ad una cassetta.

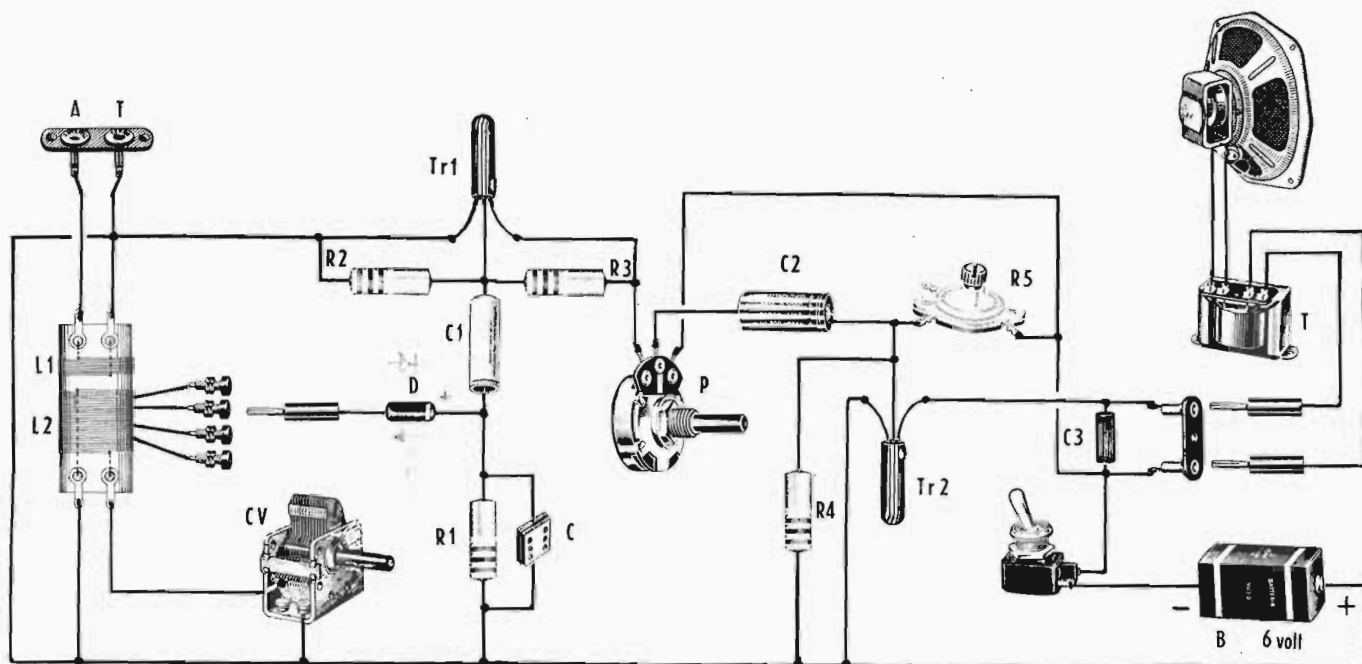



Fig. 12 — Schema elettrico-pratico del ricevitore a 3 stadi. Elenco del materiale occorrente:

1 tubo di cartone bachelizzato - diametro 2,5 cm - lunghezza 10 cm - Filo di rame smaltato, da 0,22 mm, 15 m circa. Per L1 = 20 spire; per L2 = 112 spire affiancate (tra L1 ed L2 = 4 mm).
1 condensatore variabile ad aria CV - capacità pF 365 (può anche essere da 500 cm - G.B.C. N° 0/132).
1 diodo a cristallo di germanio - D - OA79 oppure 1N34
1 condensatore a mica - C - da 250 pF.
1 condensatore fisso - C1 - da 0,5 μF - a carta.
1 transistore - Tr1 - OC 70 o similare.
Boccole, prese, squadrette e basette di fissaggio, viti, spine a banana, filo per collegamenti, tubetto sterling, stagno preparato.
1 manopola graduata o bottone ad indice, per CV.
1 bottone di comando per P.
1 batteria - B - da 6 volt.
1 resistenza fissa - R3 - 0,5 w (vedi testo).
1 resistenza fissa - R4 - da 10.000 ohm - 0,5 w.
1 resistenza variabile - R5 - da 100.000 ohm - G.B.C. N. D/161.
1 resistenza fissa - R1 - da 100.000 ohm - 0,5 w.
1 resistenza fissa - R2 - da 10.000 ohm - 0,5 w.
1 potenziometro da 5.000 ohm
1 transistore - Tr2 - OC 71 o similare.
1 condensatore fisso, a carta - C3 - 5000 pF
1 trasformatore per transistore-altoparlante - G.B.C. N. P/151.
1 altoparlante magnetodinamico - diametro 8 cm - impedenza 10 ohm - G.B.C. N. P/247.
1 interruttore a levetta - G.B.C. N. G/1101.
1 condensatore elettrolitico - C 2 10 μF

vi è interposta la resistenza assai bassa a questi effetti, della batteria). La possibilità che ci offre *P* che dosa il segnale da inoltrare al secondo transistore, si traduce in una regolazione del volume sonoro: perciò *P* funge da « regolatore di volume » e ci consente quella necessaria manovra che è comune a tutti i radioricevitori provvisti di altoparlante. Il suo comando, pertanto, va posto all'esterno del pannello per ovvie ragioni di praticità.

C_2 è il nuovo condensatore di accoppiamento (è del tipo elettrolitico e permette l'impiego di elevato valore con volume minimo: occorre rispettare la polarità di inserzione). C_3 è un condensatore di fuga per le frequenze più alte sì da modificare il « tono » dell'ascolto: esso è facoltativo.

Per disporre della maggiore potenza, occorrente a TR_2, si è resa necessaria una batteria da 6 volt in luogo di quella da 3 volt precedente. È stato inserito anche un interruttore (*I*) per includere o escludere l'alimentazione.

L'altoparlante da impiegare sarà scelto tra quelli a piccolo diametro (8 - 10 - 12 cm) in quanto l'energia disponibile non è ancora adeguata ad un tipo di grande diametro. Molto spesso l'altoparlante viene fornito con il trasformatore *T* già montato sul suo cestello: in tal caso la bobina mobile è già collegata al secondario e sono disponibili le due linguette dell'avvolgimento primario. Ad esse si uniranno due conduttori flessibili che faranno capo a due spinotti (banane) da inserire nella presa d'uscita. Quanto sopra vale in quanto, come spesso avviene, si collochi l'altoparlante in posizione relativamente distanziata dal pannello dell'apparecchio. In questi casi, anzi, si è soliti racchiudere l'altoparlante in una sua cassetta con foro in corrispondenza del cono: essa funge da mobiletto e quasi sempre migliora (vedremo a suo tempo perchè) la qualità di riproduzione. Se si adotta la soluzione ora accennata si può contenere il montaggio sullo stesso pannello sul quale possono essere stati realizzati i due apparecchi descritti in precedenza. La **figura 11** dimostra infatti che, pur con l'aggiunta del secondo stadio di amplificazione, si perviene ad un assieme pressochè eguale a quello di figura 5, derivante a sua volta dal montaggio del ricevitore descritto a pagina 68. Questo risultato è ottenibile in quanto già all'inizio il nostro disegno relativo al collocamento delle parti teneva conto dell'evoluzione successiva.

Così come R_3 a valore fisso sostituisce la resistenza variabile una volta individuato il valore più opportuno, un'altra resistenza fissa può sostituire, se si crede, R_5, dopo che anch'essa ha indicato quale sia la resistenza che permette il minor consumo del collettore di TR_2 senza sacrificio dell'intensità sonora d'uscita. Avvertiamo che il transistore di potenza ha un consumo di corrente che è circa il triplo di quello di TR_1. Si seguirà, per la misura, la stessa tecnica già illustrata per TR_1 con impiego cioè di un milliamperometro di lettura.

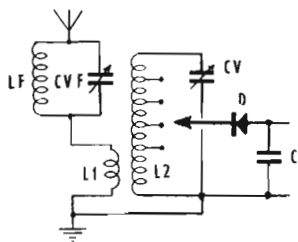



Fig. 13 — La selettività dei ricevitori descritti può essere notevolmente aumentata inserendo in serie al collegamento d'antenna, il circuito filtro accordato LF-CVF che sarà sintonizzato sulle frequenze interferenti. Per LF è pratico scegliere una bobina a nido d'ape (G.B.C. mod. 0/486, trascurando l'avvolgimento primario) e per CVF si può adottare qualsiasi variabile con capacità massima dai 365 ai 500 pF.

Anche per questo montaggio riportiamo lo schema speciale con componenti nel loro reale aspetto — **figura 12** — per aiutare sia nella comprensione dello schema elettrico, sia nel controllo dei collegamenti eseguiti e da eseguirsi. Se l'altoparlante acquistato non è dotato del trasformatore *T* si dovrà provvedere al collegamento della bobina mobile con il secondario del trasformatore stesso: se risulterà necessario individuare gli avvolgimenti primario e secondario sarà facile farlo con l'aiuto dell'ohmetro, tenendo presente che l'avvolgimento presentante la resistenza più alta è il primario.

PERFEZIONAMENTI EVENTUALI

Tutti e tre i ricevitori sin quì descritti offrono lo stesso grado di selettività, e occorre dire che la loro selettività è alquanto scarsa. Questo inconveniente non pregiudica i risultati se la stazione da ricevere (la cosiddetta «locale») è unica o se, potendosi ricevere due stazioni, queste differiscono molto in lunghezza d'onda sì da sintonizzarne una all'inizio e l'altra verso la fine della rotazione di *CV*. Accade assai spesso, invece, che le due o più stazioni interferiscano: allora è necessario ricorrere ad un ulteriore circuito sintonizzato per accrescere la selettività. Già nella lezione precedente si è visto come, sul circuito d'antenna, possa essere inserito un tale circuito (vedi figura 10A e B a pagine 318). Tenendo presente quanto è stato detto allora si deduce che le soluzioni più correnti e possibili sono due: una consiste nel filtro d'antenna disposto in serie come da **figura 13**, un'altra derivante dalla realizzazione di un secondo circuito accordato inserito in parallelo al primario d'aereo. Consigliamo la prima che può essere attuata con gli stessi valori di induttanza e capacità presenti nel circuito di sintonia L_2-*CV*; può, perciò, essere realizzata una bobina identica ad L_2, salvo la omissione delle prese ma, ragioni di praticità suggeriscono, se reperibile, una bobina meno ingombrante (avvolgimento a nido d'ape) possibilmente con nucleo di materiale magnetico per radiofrequenza. Anche il condensatore variabile può essere diverso: per economizzare può essere scelto un tipo a dielettrico mica che è, anch'esso, meno ingombrante di quello ad aria.

Il nuovo circuito accordato, che viene indicato *LF-CVF* nello schema di figura 13, sarà sintonizzato sulla frequenza del segnale interferente. In pratica, dopo aver accordato con *CV* la stazione che si desidera ricevere, si ruoterà *CVF* sino ad un punto in cui i segnali dell'altra stazione, quella non desiderata, spariranno o saranno molto attenuati. Se in una data località si ha possibilità di buon ascolto di due stazioni, è logico che il comando di *CVF* debba rimanere facilmente accessibile, dato che può essere necessario dover eseguire l'accordo per l'una o per l'altra stazione, a seconda cioè di quella prescelta con *CV*; se la ricezione buona o prescelta è quella di una sola stazione, l'assieme *LF-CVF* può essere sintonizzato una volta per sempre e non è necessario che risulti in posizione di pronta accessibilità.

Il lettore si chiederà ora se, così come si è fatto per i due stadi, non si possa aggiungerne ancora un terzo. Effettivamente, con una scelta opportuna del tipo di transistore, la cosa sarebbe possibile, ma noi la sconsigliamo. È preferibile che gli eventuali ulteriori miglioramenti vertano verso un aumento della sensibilità al fine di poter ricevere un maggiore numero di stazioni o, quanto meno, di non rendere indispensabile un'estesa antenna esterna. Vi è una soluzione per questo problema: affidare la rivelazione non più ad un semplice diodo ma ad un transistore, attuando a tale scopo un particolare circuito che viene detto «a reazione». Con ciò si accresce notevolmente non solo la sensibilità ma, contemporaneamente, anche la selettività. Una costruzione del genere sarà oggetto di descrizione in una lezione futura nella quale l'argomento dei ricevitori sarà ripreso e ulteriormente sviluppato, onde giungere, per gradi, ad apparecchi di sempre più completi risultati.

In tale occasione, per gli stessi fini, sarà esposto ed applicato un sistema non ancora illustrato ai nostri lettori, atto ad accrescere ulteriormente la potenza d'uscita, sì da consentire un volume sonoro elevato e l'impiego eventuale di un altoparlante di maggior diametro.

Gli apparecchi così realizzati potranno anche essere destinati in permanenza all'ascolto, vogliamo dire che potranno essere riguardati non più come costruzioni specificatamente sperimentali, soggette a rifacimenti, ma usati normalmente.

Ben inteso ad essi faremo seguire ricevitori ancor più moderni, noti col nome di «supereterodine», tuttavia, la maggiore semplicità di questi primi apparecchi ed il loro minor costo, potranno — come abbiamo detto — farli preferire in alcuni casi di favorevoli condizioni di ubicazione unite a considerazioni di ordine economico.

SIMBOLI - ABBREVIAZIONI

b = Base di un transistore

c = Collettore di un transistore

dB = Decibel: unità di misura relativa al rapporto tra due grandezze

e = Emettitore di un transistore

FORMULE

Frequenza di risonanza di un'antenna:

$$F_0 = \frac{159}{\sqrt{LC}}$$

nella quale:

F_0 = Frequenza in megahertz

C = Capacità in microfarad

L = Induttanza in microhenry

Frequenza di risonanza di un'antenna standard da laboratorio:

$$F_0 = \frac{159}{\sqrt{(50)\,(200)}}$$

SEGNI SCHEMATICI

= Transistore p-n-p

= Transistore p-n-p

= Transistore p-n-p

= Transistore n-p-n

= Antenna a telaio

= Antenna a telaio

= Antenna a telaio

= Boccola con contatto a « jack »

= Variometro

= Variometro

= Commutatore con corto-circuito

= Commutatore con corto-circuito

DOMANDE sulle LEZIONI 40ª e 41ª

N. 1 —
Cosa si intende per « gamma di frequenza » in un apparecchio radio?

N. 2 —
Quale è la prima condizione necessaria affinchè un ricevitore abbia la massima sensibilità?

N. 3 —
Cosa si intende per « lunghezza elettrica » di un'antenna?

N. 4 —
Quale è il primo organo di un ricevitore che può fornire una certa amplificazione?

N. 5 —
In quale caso un ricevitore viene detto « a stadi accordati »?

N. 6 —
Quale è il vantaggio che deriva dall'aggiunta di stadi di amplificazione di Alta Frequenza?

N. 7 —
Cosa si intende per circuito trappola? In che cosa consiste? Come viene applicato?

N. 8 —
Che cosa è un'antenna a telaio?

N. 9 —
In quale posizione si trova il condensatore variabile di un circuito sintonizzato, allorchè quest'ultimo viene predisposto per la ricezione della massima frequenza della gamma disponibile?

N. 10 —
In quanti modi può variare la capacità di un condensatore variabile, con la rotazione delle armature mobili?

N. 11 —
A cosa servono i tagli radiali praticati sulle lamine esterne del rotore di un condensatore variabile?

N. 12 —
Cosa si intende per « commutazione di gamma »? Come viene effettuata?

N. 13 —
Cosa si intende, in un radio ricevitore, per « gruppo di Alta Frequenza? »

N. 14 —
Quale è la caratteristica sulla quale si basa il funzionamento di un transistore?

N. 15 —
Quanti e quali sono gli elettrodi di un transistore?

N. 16 —
In quale caso due stadi di amplificazione vengono detti « in cascata »?

N. 17 —
Nel circuito del ricevitore a tre stadi (Fig. 10, lez. 41ª), quale è il compito del trasformatore T?

N. 18 —
Nel circuito di figura 13 (Lez. 41ª), su quale frequenza deve essere sintonizzato il circuito LF-CVF, posto in serie al conduttore di antenna?

RISPOSTE alle DOMANDE di Pag. 305

N. 1 — Convertire un determinato livello di tensione-corrente in un altro, tale però che il prodotto tra i due valori rimanga costante.

N. 2 — È possibile, in quanto un trasformatore può erogare diverse tensioni con intensità di corrente proporzionali, che possono essere impiegate separatamente. La potenza totale resa è però sempre eguale a quella assorbita dalla sorgente.

N. 3 — Il nucleo, l'avvolgimento primario, l'avvolgimento o gli avvolgimenti secondari, il carcassino ed il serrapacco.

N. 4 — Il primario, collegato ad una sorgente di energia, trasforma la corrente in un campo magnetico, ed il secondario subisce l'influenza di detto campo ed eroga una tensione (e quindi una corrente) da esso indotta.

N. 5 — I due rapporti sono identici.

N. 6 — In tre modi: 1) Per elevare una tensione diminuendo proporzionalmente la corrente; 2) Per ridurre una tensione aumentando proporzionalmente la corrente; 3) Per ottenere un identico livello di tensione-corrente, in due circuiti alimentati dalla medesima sorgente ma elettricamente isolati tra loro.

N. 7 — A causa delle perdite inevitabili nel rame e nel ferro.

N. 8 — Per ridurre al minimo le correnti parassite circolanti nel nucleo stesso, ed in esso indotte dal campo magnetico. Se tra i lamierini non esiste una « continuità » di circuito, le correnti parassite non possono circolare.

N. 9 — Ai capi del secondario appare la tensione di 112,5 volt.

N. 10 — Sì. Le tensioni secondarie a vuoto, ossia in assenza di carico, sono più elevate.

N. 11 — Perchè altrimenti la discontinuità del circuito magnetico, inevitabile per consentire l'introduzione dei lamierini stessi nell'avvolgimento, coinciderebbe in tutti in un'unica posizione. Ciò determinerebbe la presenza di un « traferro » ossia di una interruzione tale da compromettere il risultato per la diminuzione della densità di flusso.

N. 12 — No. Detto fattore è costante, ed è determinato dal rapporto tra la tensione ed il numero di spire di ogni avvolgimento.

N. 13 — Detti valori sono tra loro inversamente proporzionali.

N. 14 — Il rapporto tra la potenza dissipata nel circuito primario e quella erogata dal o dai secondari.

N. 15 — La dispersione del flusso magnetico (linee di forza che non influenzano il secondario), l'isteresi magnetica, le correnti parassite nel nucleo, la saturazione di quest'ultimo, la resistenza ohmica del conduttore, e la capacità distribuita.

N. 16 — Perchè tra due strati affacciati esiste una d.d.p. pari alla tensione totale divisa per il numero degli strati stessi. Tale d.d.p. può essere maggiore di quella tollerata dallo smalto che riveste il conduttore, il quale — tra l'altro — è soggetto a rotture. La mancanza di tale isolamento determina il pericolo di corto-circuiti.

Per le seguenti misure:

VOLT C.C. = 5 - 10 - 25 - 50 - 100 - 250 - 500 - 1.000 f.s.
VOLT C.A. = 5 - 10 - 25 - 50 - 100 - 250 - 500 - 1.000 f.s.
MILLIAMPERE C.C. = 50 μA.; 1 - 5 - 50 - 500; 5 ampère
MILLIAMPERE C.A. = 1 - 5 - 50 - 500; 5 ampère
OHM = 0 - 20.000; 0 - 200.000; 0 - 2 Mohm; 0 - 20 Mohm
MICROFARAD = 0 - 5 f.s.
DECIBEL = da —10 a +16 f.s.

Questo che presentiamo è — come abbiamo premesso all'inizio della trattazione di una piccola serie di analizzatori — il modello più completo e più sensibile. Abbiamo allora detto che il possesso di due tipi consentiva un corredo veramente completo in quanto si sarebbe potuto destinare il tipo da 5.000 ohm per volt ad un uso di minore impegno (lavoro esterno) ed il modello da 20.000 ohm per volt all'uso in laboratorio. Ora, è bene chiarire, questa distinzione degli impieghi non è tassativa: ragioni di economia consigliano spesso di effettuare un compromesso. Il lettore deciderà, in tal caso, per l'uno o per l'altro tipo, in previsione del suo programma, vale a dire, a seconda delle sue intenzioni circa la sua applicazione alla radiotecnica. Chi intende dedicarsi ad una attività di semplice svago può limitarsi al « tester » descritto al fascicolo 9°: chi desidera intraprendere un lavoro di tec-

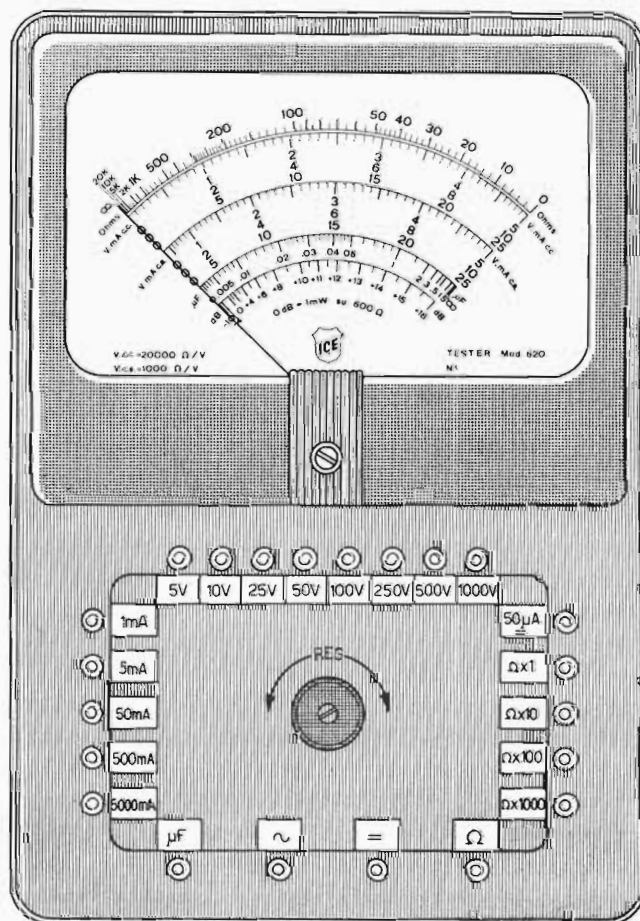
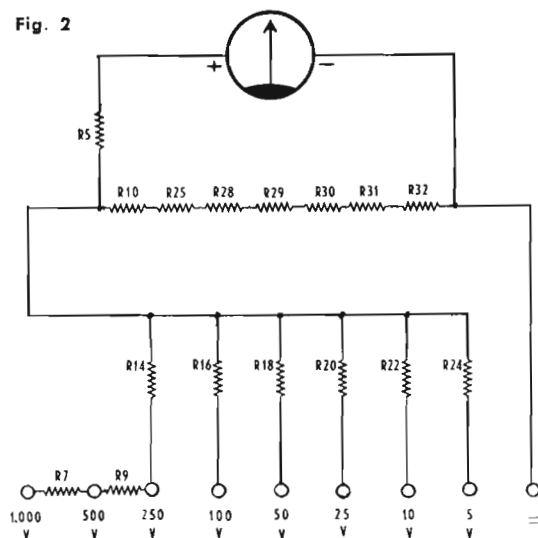



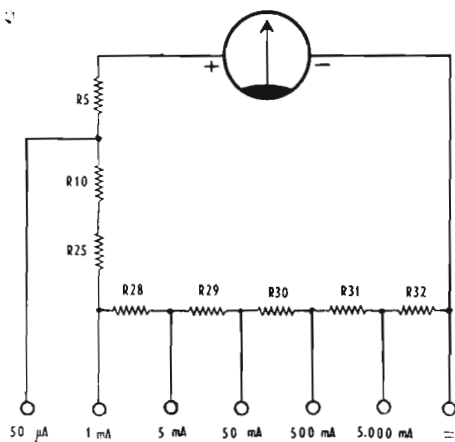
Figura 1 — Veduta frontale del « tester » le cui dimensioni sono: cm 13,5 di larghezza, cm 19,5 di altezza, cm 7,5 di spessore.

nico riparatore o progettista è assai più opportuno — dovendo scegliere tra i due strumenti — dia la preferenza alla presente realizzazione.

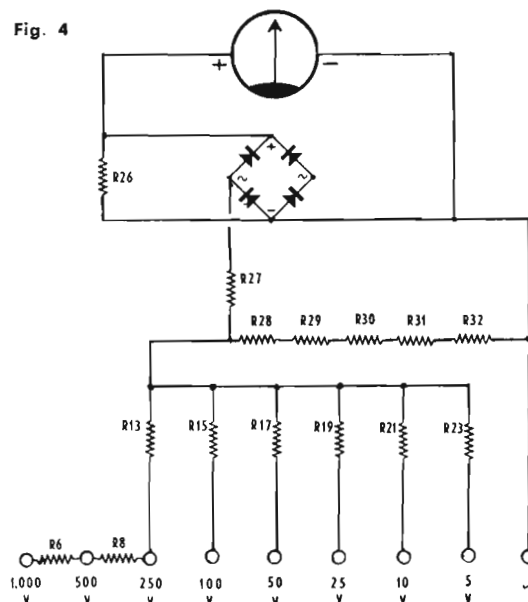
Misure di tensione continua

Fig. 2

Si può usufruire di ben otto portate. In conseguenza, sarà facile scegliere quella portata che permette una lettura agevole e precisa, avendo cura di selezionarla in modo che il valore in via di lettura cada verso il fondo scala. Lo schema di **figura 2** riporta la serie di resistenze addizionali (da R_{24} ad R_7) interessate alle varie scale: compaiono anche altre resistenze che, se pur non necessarie per questo compito, non si possono ignorare ai fini dei valori totali del circuito.

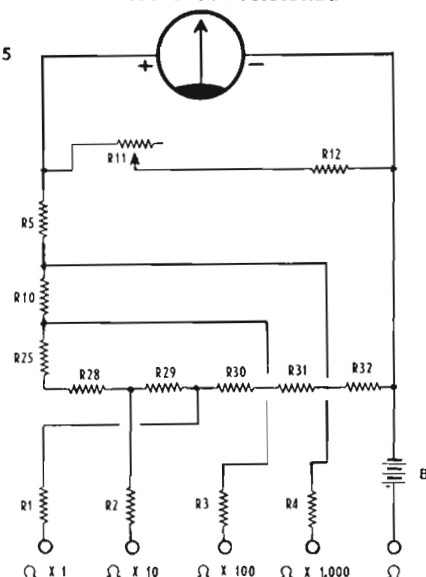
Misure di corrente continua

Fig. 3

Anche per la lettura di correnti le possibilità sono numerose, ed è offerta una gamma molto ampia: essa si estende infatti dai 50 microampère a ben 5 ampère. La prima è praticamente la sensibilità diretta dello strumento di misura vero e proprio: i diversi « shunt » per le altre portate sono individuabili chiaramente alla **figura 3** relativa ai componenti interessati a questo impiego. Si osservi che per la portata di 5 ampère si è resa necessaria una resistenza di soli 0,1 ohm (R_{32}).

Misure di tensione alternata

Fig. 4

Per la disposizione delle resistenze si può notare molta analogia con lo schema riportato a fianco. Oltre al caratteristico impiego del gruppo raddrizzatore (**figura 4**) è da far osservare che la serie di resistenze addizionali (da R_{23} a R_6) è diversa da quella di cui si usufruisce nelle misure di tensione continua: infatti si hanno qui 1.000 ohm per volt in luogo di 20.000 ohm, da cui 4.580 ohm, ad esempio (R_{23}) in luogo di 98.000 ohm (R_{24}).

Misure di resistenza

Fig. 5

Lo schema (**figura 5**) risulterà molto chiaro ai nostri lettori che hanno seguito la assai esauriente trattazione che abbiamo esposto in merito agli ohmetri. Stante la ele-

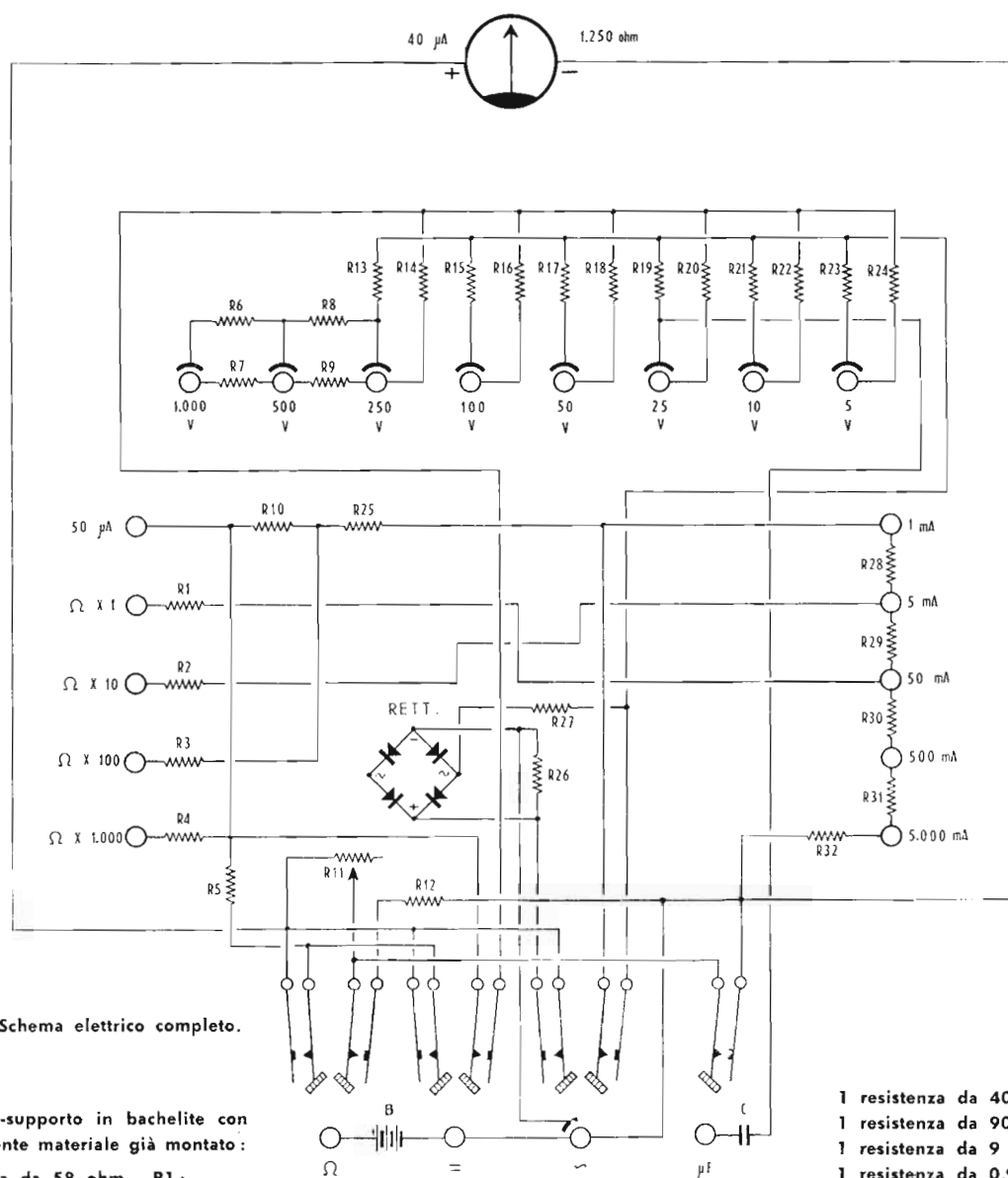



Fig. 6 — Schema elettrico completo.

1 pannello-supporto in bachelite con il seguente materiale già montato:

1 resistenza da 58 ohm - R1;
1 resistenza da 600 ohm - R2;
1 resistenza da 6083 ohm - R3;
1 resistenza da 68.250 ohm - R4;
1 resistenza da 1250 ohm - R5;
1 resistenza da 500.000 ohm - R6;
1 resistenza da 10 Megaohm - R7;
1 resistenza da 250.000 ohm - R8;
1 resistenza da 5 Megaohm - R9;
1 resistenza da 9000 ohm - R10;
1 resistenza da 2000 ohm - R12;
1 resistenza da 250.000 ohm - R13;
1 resistenza da 5 Megaohm - R14;
1 resistenza da 100.000 ohm - R15;
1 resistenza da 2 Megaohm - R16
1 resistenza da 49.580 ohm - R17;
1 resistenza da 1 Megaohm - R18;
1 resistenza da 24.580 ohm - R19;
1 resistenza da 49.800 ohm - R20;
1 resistenza da 9580 ohm - R21;
1 resisetnza da 198.000 ohm - R22;
1 resistenza da 4580 ohm - R23;
1 resistenza da 98.000 ohm - R24;
1 resistenza da 500 ohm - R25;
1 resistenza da 2.350 ohm - R26;
1 resistenza da 1.200 ohm - R27;
1 resistenza da 400 ohm - R28;
1 resistenza da 90 ohm - R29;
1 resistenza da 9 ohm - R30;
1 resistenza da 0,9 ohm - R31;
1 resistenza da 0,1 ohm - R32.
1 condensatore a carta da 30.000 pF - C.
1 raddrizzatore a ponte per strumenti - Rett.

Materiale da montare:

1 potenziometro (montato a reostato) da 5.000 ohm - R11.
1 microamperometro (sensibilità = 40 μA) con scale tarate per le diverse portate e tipi di lettura.
1 batteria a secco da 4,5 volt - B.
2 spinotti con cordone e puntali.
1 scatola-custodia, in materiale plastico, con 4 viti di chiusura.

vata sensibilità propria dello strumento indicatore, si è potuto, con una tensione limitata a 4,5 volt, portare la lettura fino a 20 Megaohm (ultima indicazione sulla scala — 20 K — moltiplicato per 1.000). R_{11} è, naturalmente, la resistenza variabile di azzeramento ed R_{12} quella di protezione.

La **figura 6** riporta lo schema nella sua stesura completa: esso non è, ovviamente, che la fusione degli schemi parziali sin qui visti. Deve essere messo in evidenza il particolare compito svolto dalle molette di contatto poste in corrispondenza delle quattro boccole collocate (sullo schema e sullo strumento) in basso. Allorchè viene introdotto lo spinotto in una delle citate boccole si attua, a mezzo del gambo dello spinotto stesso, sulle mollette centrali, una pressione che tende ad allargarle: ne consegue la chiusura dei contatti di destra e di sinistra, normalmente aperti, e l'utilizzazione dei dovuti elementi necessari a quel tipo di misura. Le mollette sono isolate tra loro e lo spinotto agisce su di una zona di materiale isolante, disegnata tratteggiata sullo schema. Il sistema descritto evita l'impiego di un complesso commutatore.

Si noti che lo schema è stato disegnato in maniera da

corrispondere, nella dislocazione delle varie prese, alla stessa disposizione che l'analizzatore adotta sul suo pannello, ma con veduta dall'interno, per un più comodo esame, se necessario.

Misure di capacità

Fig. 8 — Analizzatore predisposto come misuratore di capacità. Il condensatore di valore incognito viene interposto su un lato di un collegamento a tensione di rete; non si tocchino parti metalliche dei puntali e del condensatore perchè sottoposte a tensione alta. I valori che possono essere letti con precisione vanno da circa 1.000 pF a circa 2-3 microfarad.

La disposizione che appare a **figura 7** è nuova per il nostro lettore. Egli può vedere come sia possibile sfruttare uno strumento di lettura per creare un circuito che, facendo ricorso ad una elevata tensione alternata, può dare dirette indicazioni (su scala preventivamente tarata) del valore capacitivo di condensatori. Sostanzialmente, si ha una predisposizione per lettura voltmetrica in alternata: infatti, se alle due boccole indicate viene avviata una tensione da 110 a 220 volt, la tensione viene raddrizzata e successivamente indicata dallo strumento. Entra allora in funzione il reostato R_{11}: esso, opportunamente ruotato, permette di far coincidere l'indice dello strumento (l'azzeramento avviene in modo analogo a quello noto per le misure ohmetriche) con la precisa posizione di fondo scala. Una volta azzerato l'indice, se sul percorso di un conduttore recante l'alta tensione alternata viene interposto un condensatore (**figura 8**), si verificherà uno squilibrio. Il condensatore opporrà al passaggio della corrente la sua reattanza e minore tensione giungerà alle due boccole: l'indice quindi non raggiungerà più il fondo scala e la posizione sulla quale si fermerà dipenderà in modo diretto dal valore del condensatore interposto. I valori più alti oppongono minore reattanza (l'indice tende a rimanere verso il lato destro) e viceversa. La precisa indicazione dell'apposita scala rende possibile una immediata lettura del valore di capacità del condensatore incognito interposto su uno dei conduttori come in figura a lato. Della presenza permanente di C in circuito, naturalmente è stato tenuto conto nella preparazione della scala.

Misure d'uscita

Anche questa funzione è nuova per il lettore. Essa può essere svolta, in linea di massima, da tutti i « tester », dato che è, in realtà, una semplice lettura di tensione alternata. Tuttavia, occorre che lo strumento venga dotato di apposita scala con indicazioni in una particolare unità di misura: il decibel (dB). Tratteremo in altra lezione, sia di tale unità di misura, sia dell'uso del misuratore d'uscita. Accenneremo al fatto che i valori riportati sulla scala sono da porsi in riferimento alla lettura eseguita per la portata di 5 volt c.a. Usando la portata 10 volt (come da **figura 9**) alla lettura indicata si dovranno aggiungere +6 dB: con la portata 25 volt se ne aggiungeranno +13; con la portata 50 volt si dovranno sommare +19,5 dB ed infine sulla portata 100 volt si aggiungeranno +25,4 decibel.

Lo strumento viene denominato misuratore d'uscita in quanto per queste letture viene connesso in « uscita » dell'apparecchiatura in esame, sia essa un radioricevitore, sia essa un amplificatore: avviando all'« entrata » di detta apparecchiatura un dato segnale, se ne potrà osservare il comportamento per tutto l'apparecchio e, di conseguenza, si potrà valutare il grado di efficienza e numerosi altri fattori.

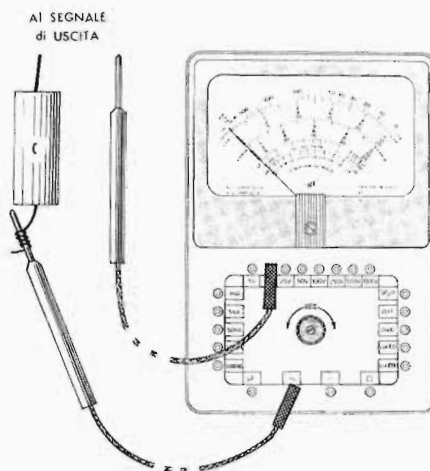



Fig. 9 — Analizzatore predisposto come misuratore d'uscita. Possono essere impiegate tutte le portate per tensione alternata, ma è necessario interporre, come è illustrato, un condensatore « C » da 10.000 pF per salvaguardare il circuito di misura dalla presenza di eventuale componente di corrente continua. Nel testo è spiegato come deve essere interpretata l'apposita scala.

MONTAGGIO - IMPIEGO

Il montaggio si riduce a pochissime operazioni. Un « tester » che debba presentare un aspetto professionale e debba risultare compatto, ordinato e razionale, comporta operazioni di montaggio di notevole delicatezza, presupponenti particolari abilità nell'operatore che le esegue. In uno spazio ristretto debbono essere collocate e saldate a dovere molte resistenze che sono assai spesso difficilmente raggiungibili con i normali saldatori: determinate operazioni debbono essere eseguite prima di altre, e solo con la costruzione di diversi prototipi si può pervenire ad un risultato soddisfacente. Queste considerazioni ci hanno portato all'unica soluzione sicura in questo caso: quella di adottare un'unità semimontata, vale a dire, già pronta per quanto si riferisce a quel lavoro che difficilmente il lettore potrebbe fare con eguale perfezione. L'unità semi-pronta si presenta come da **figura 10 A**: non resta che inserire lo strumento. Il potenziometro R_{11} e la batteria, e provvedere alle poche saldature relative a tali organi, così come compaiono alla **figura 10 B**. Ci si ricordi di unire la linguetta centrale di R_{11} con quella laterale, a sinistra guardandolo dal retro.

Occorre ricordare sempre che lo strumento misuratore è molto sensibile e che quindi deve essere protetto da qualsiasi sollecitazione meccanica, come urto, vibrazione, ecc. Come è consuetudine, le scale che si riferiscono alle misure con corrente alternata sono quelle stampate in rosso. È molto importante che, nell'uso, gli spinotti dei due cordoni siano sempre introdotti completamente, ossia a fondo, nelle rispettive boccole.

Per le misure di resistenze, uno spinotto verrà introdotto nella boccola in basso, segnata « Ω » e l'altro in una delle boccole laterali di destra, a seconda della portata desiderata. Si faccia attenzione a non scambiare la boccola « Ω × 1 » con la vicina boccola superiore « 50 μA » perchè tale errore potrebbe compromettere l'integrità dello strumento. Azzerare con i puntali in contatto tra di loro, a mezzo di « REG », e ripetere questa operazione ogni volta che si cambia portata ohmetrica. Se l'indice non arriva più a zero, cambiare la batteria: rispettare la polarità.

Per le misure di intensità in c.c. uno spinotto (negativo) va inserito nella boccola in basso « = » e l'altro (positivo) in una delle prese laterali a sinistra.

Per la sola misura di 50 μA, questo secondo spinotto sarà portato ad una boccola di destra, quella appunto contrassegnata « 50 μA ».

Per misure di intensità in c.a., lo spinotto in basso sarà passato nella boccola recante il contrassegno della c.a.

Per le misure di tensione la boccola in basso, da usare, varia tra c.c. (=) e c.a. (∼) mentre l'altra sarà sempre quella della portata prescelta.

Per le misure d'uscita si tenga presente che il livello base assunto per lo zero è 1 mW su 600 ohm, pari a 0,775 volt efficaci.

Per le misure di capacità, prima di procedere, si ruoti completamente verso sinistra la manopolina « REG », poi — applicata una tensione qualsiasi di rete tra 110 e 220 volt — si ruoti verso destra sino all'azzeramento preciso a fondo scala: inserito il condensatore come dalla figura 9, si leggerà la sua capacità sulla scala rossa apposita.

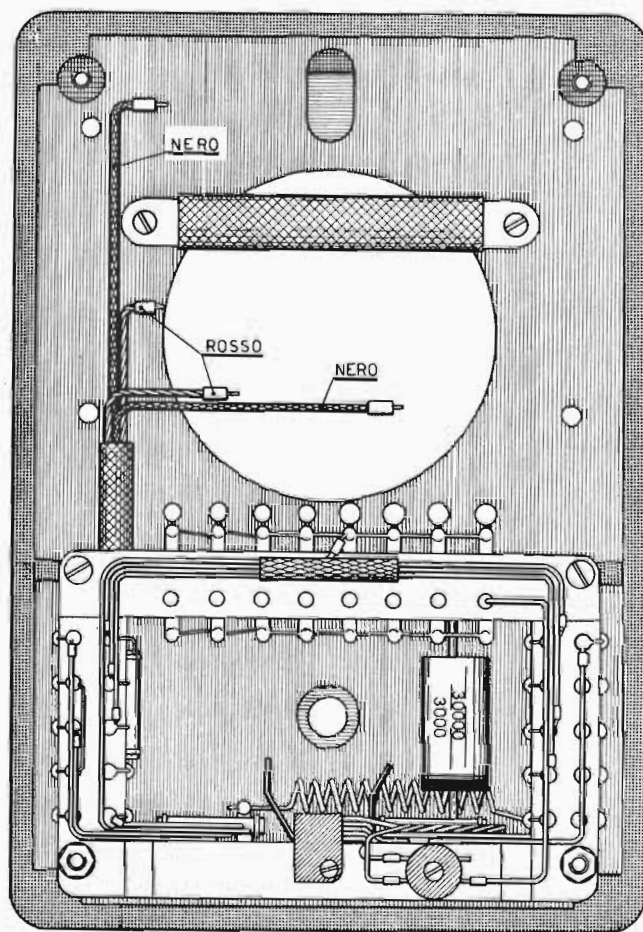



Fig. 10 A e B — Interno del pannello-custodia premontato (in alto) e aspetto dopo il montaggio (sotto) degli altri componenti.

Dal 1931 su tutti i mercati del mondo

PARTI STACCATE PER RADIO - TELEVISIONE - AMPLIFICAZIONE - APPARECCHI ELETTRONICI

GRUPPI PER RICEVITORI A MODULAZIONE DI AMPIEZZA

GRUPPI PER RICEVITORI A MODULAZIONE DI FREQUENZA

GRUPPI PER TRASMETTITORI AD ONDE CORTE

CHIEDETE IL LISTINO DELLE PARTI STACCATE ED IL "BOLLETTINO TECNICO GELOSO"

Direzione Centrale: **GELOSO** S.p.A. Viale Brenta 29 - MILANO 808

HEATH COMPANY

a subsidiary of Daystrom, Inc.

CARATTERISTICHE

Scale	0 - 100 pF; 1000 pF; 0,01 µF e 0,1 µF fondo scala
Tubi	6BX7GT Oscillatore 6X5GT Rettificatore OA2 Stabilizzatore
Strumento indicatore	Di facile apprezzamento, scala lineare di 112 mm., sensibilità 50 microampère fondo scala
Taratura dei Condensatori	± 1% per le scale 100 e 1000 pF ± 2 % per le scale 0,01 e 0,1 µF
Alimentazione	105 ÷ 125 Volt c.a.; 50 ÷ 60 Hz; 25 Watt
Dimensioni	Altezza 19, larghezza 11, profondità 10 cm.
Peso netto	2,3 Kg. circa

REQUISITI

- Lettura diretta della capacità su una scala di 112 mm. di uno strumento con sensibilità di 50 microampere.
- Quattro scale: 0-100 pF; 0÷1000 pF; 0-0,01 µF e 0,1 µF.
- La capacità residua è minore di 1 pF e non è influenzata dalla capacità delle mani dell'operatore.
- Una sola taratura per tutte le scale.
- Alimentazione dalla rete e stabilizzazione della tensione rettificata.

RAPPRESENTANTE GENERALE PER L'ITALIA

soc. r. l. MILANO P.zza 5 GIORNATE 1
Telefoni: 795.762 - 795.763

AGENTI ESCLUSIVI DI VENDITA PER:
LAZIO - UMBRIA - ABRUZZI
Soc. FILC RADIO - ROMA
Piazza Dante, 10 - Telefono 736.771

EMILIA - MARCHE
Ditta A. ZANIBONI - BOLOGNA
Via Azzogardino, 2 - Telefono 263.359

corso di

RADIOTECNICA

pubblicazione settimanale - 7 - 14 gennaio 1961 - un fascicolo lire 150 15° numero

corso di
RADIOTECNICA

settimanale a carattere culturale

Direzione, Amministrazione, Pubblicità:
Via dei Pellegrini 8/4 - Telef. 593.478
MILANO

Ogni fascicolo — contenente 3 lezioni — costa lire 150, acquistato alle edicole.

Se l'edicola risulta sprovvista, o si teme di rimanere privi di qualche numero, si chieda invio settimanale direttamente al proprio domicilio a mezzo abbonamento.

Il versamento per ricevere i 52 fascicoli costituenti l'intero Corso è di lire 6500 + I.G.E. = lire 6630. A mezzo vaglia postale, assegno bancario, o versamento sul conto corr. postale 3/41.203 del « Corso di RADIOTECNICA » - Via dei Pellegrini 8-4 - Milano.
In ogni caso, scrivere in modo molto chiaro e completo il proprio indirizzo.

L'abbonamento può essere effettuato in qualsiasi momento; si intende comprensivo delle lezioni pubblicate e dà diritto a ricevere tali lezioni, che saranno inviate con unica spedizione.

Estero: abbonamento al Corso, Lit. 8.500. ($ 15). Numeri singoli Lit. 300 ($ 0,50).

Per i cambi di indirizzo durante lo svolgimento del Corso, unire lire 100, citando sempre il vecchio indirizzo.

Fascicoli singoli arretrati — se disponibili — possono essere ordinati a lire 300 cadauno.
Non si spedisce contrassegno.

Distribuzione alle edicole di tutta Italia: Diffus. Milanese . Via Soperga, 57 - Milano.

Direttore responsabile: Giulio Borgogno.

Autorizzaz. N. 5357 - Tribunale di Milano.

Stampa: Intergrafica S.r.l. - Cologno Monzese.

La Direzione non rivende materiale radio; essa può comunicare, se richiesta, indirizzi di Fabbricanti, Importatori, Grossisti ecc. in grado di fornire il necessario ed ai quali il lettore può rivolgersi direttamente.

Alla corrispondenza con richiesta di informazioni ecc. si prega allegare sempre il **francobollo per la risposta.**

Parte del testo e delle illustrazioni è dovuta alla collaborazione del Bureau of Naval Personnel, nonchè al Dept. of the Army and the Air Force - U.S.A.

A chi può essere utile questo Corso? Anzitutto — stante la sua impostazione — il Corso, basato sull'esposizione in forma a tutti accessibile, della radiotecnica, dai suoi elementi basilari alla evoluzione più recente, rappresenta la forma ideale per tutti coloro che intendono dedicarsi all'elettronica, sia come forma ricreativa sia — soprattutto — per l'acquisizione di una professione specializzata che possa procurare loro una posizione di privilegio in seno alla società odierna.

Anno per anno, la nostra civiltà si indirizza sempre più verso questa meravigliosa, si potrebbe dire fascinosa, elettronica, che nel modo più evidente consente sviluppi impensati, progressi grandiosi e una rapida evoluzione di tutti gli altri rami dello scibile che essa tocca e influenza.

L'industria, tutta l'industria, nel senso più ampio, da quella elettrotecnica a quella meccanica, alla metallurgica, alla chimica ecc., con i suoi laboratori di ricerca e le sue fabbriche richiede, e richiederà sempre più, con un ritmo rapidamente crescente, tecnici specializzati con conoscenza dell'elettronica, tecnici specificatamente elettronici e persino operai e impiegati di ogni ordine e categoria con cognizioni di elettronica.

Si può dire che anche le branche commerciali, quelle dei trasporti e persino quelle amministrative con le recenti introduzioni delle calcolatrici, abbisognano di personale che conosca i principi dell'elettronica, le macchine relative, il loro pieno sfruttamento, la eventuale riparazione ecc. e, quanto più in modo completo, quanto meglio.

Nasce, da una tale situazione, una logica conseguenza: per la scelta di una professione o di un mestiere, per un miglioramento della propria posizione sociale, per l'intrapresa di una libera attività o anche per la sola acquisizione di cognizioni che indubbiamente verranno oltremodo utili, è quanto mai opportuno riflettere se non sia conveniente dedicare un po' di tempo allo studio di questa scienza che ha tra l'altro il pregio di rendersi immediatamente attraente, concreta, accessibile e foriera di moltissime soddisfazioni.

A questo scopo appunto, e con questi intenti, è stato redatto questo Corso.

Non mancano invero altri corsi (specie per corrispondenza) o scuole di radiotecnica, nè mancano (sebbene siano in numero del tutto inadeguato) scuole statali o pareggiate ma la struttura e l'impostazione che caratterizzano queste 156 lezioni sono alquanto particolari, presentando non pochi vantaggi sulle diverse altre forme di cui si è detto.

Anzitutto vogliamo porre in evidenza **il fattore economico.**

Frequentare regolarmente, durante tutto l'anno, una scuola è certo il modo più logico — anche se non il più rapido — per apprendere ma, tralasciando il fatto che rarissimi sono gli Istituti di radiotecnica, è a tutti possibile dedicarsi esclusivamente, e per l'intero anno, allo studio? Noi riteniamo che chi può farlo costituisca oggi assai più l'eccezione che la regola. Ciò significa infatti poter disporre liberamente del proprio tempo senza avere la necessità di un contemporaneo guadagno: il nostro Corso permette a chiunque di studiare a casa propria, nelle ore libere dal lavoro, senza abbandonare o trascurare quest'ultimo. Ciò caratterizza invero anche altri corsi, ma il vantaggio economico diviene notevole ed evidentissimo se si considera che di fronte all'esborso, anche se rateale, di quasi 80.000 lire che i corsi per corrispondenza richiedono, seguendo il nostro Corso la spesa in un anno risulta di poco più di 7500 lire (150 lire alla settimana presso un'edicola) o di 6630 lire totali, con recapito postale, settimanale, delle lezioni a domicilio.

E' superfluo dire che la Modulazione di Frequenza, i transistori, i circuiti stampati, la trasmissione, il telecomando ecc. sono argomenti integrali del Corso e non costituiscono motivo di corsi speciali, aggiunti o particolari.

Le lezioni di questo Corso — a differenza di molte altre — non sono stampate con sistemi di dispensa, a ciclostile, o con sistemi più o meno analoghi, derivanti cioè da un originale battuto a macchina da scrivere; esse sono stampate in uno stabilimento grafico, con chiari caratteri tipografici da cui deriva una assai più agevole lettura e — fattore certamente di non secondaria importanza — un contenuto molto più ampio, corrispondendo una pagina a stampa a tre o quattro pagine di quelle citate. Il lettore avrà, alla fine del Corso, un volume di ben 1248 pagine di grande formato!

Chiunque, indipendentemente dall'età, dalla professione e dalle scuole compiute **può seguire il Corso.** Alle esposizioni teoriche si abbinano numerose, attraenti, istruttive ed utili descrizioni che consentono la realizzazione di ricevitori, amplificatori, strumenti vari e persino di trasmittenti su onde corte.

A questo proposito è sintomatico il fatto che la Direzione non vuole assolutamente assumere la fisionomia di un fornitore o commerciante di materiale radio, rivendendo agli allievi le parti necessarie. Il materiale occorrente l'interessato può acquistarlo dove e come meglio crede e, assai spesso anzi, già ne dispone. Viene così evitato l'acquisto forzoso, caratteristico più o meno di tutti gli altri corsi.

Anche chi è già radiotecnico, anche chi ha seguito o segue altri corsi troverà il massimo tornaconto in questo completo ed aggiornato lavoro. Molte nozioni, è logico, saranno note, altre un po' meno e sarà utile rinfrescarle, e il tutto infine costituirà un manuale di consultazione, prezioso tanto per la teoria esposta quanto per i numerosi schemi, per le tabelle, per i grafici, gli elenchi, i dati, il vocabolario dei termini ecc.

Concludendo, si può affermare che questo **Corso di Radiotecnica** oltre che come insegnamento graduale si presenta come **enciclopedia e rivista assieme** ciò che permette di formare — con modestissima spesa — **il più completo, ricco, utile e pratico volume di radiotecnica di cui sia dato oggigiorno disporre.**

LA VALVOLA TERMOIONICA : DIODI e loro IMPIEGO

Siamo pervenuti finalmente allo studio della valvola termoionica. Ciò significa che, dopo un approfondito esame del suo funzionamento, saremo in grado di interessarci con cognizione di causa di quasi tutte le apparecchiature elettroniche; ben poche di esse infatti prescindono dal suo impiego.

Quanto abbiamo testè detto, vale anche per gli apparecchi a transistori, dato che questi ultimi sostituiscono molte volte le valvole, assolvendone però i medesimi compiti, vale a dire con analogia di circuiti.

Logicamente, potremo dire che lo studio della valvola è base fondamentale anche per la corretta interpretazione del funzionamento, nonchè per la applicazione pratica dei transistori. La valvola è pertanto uno dei componenti basilari degli apparecchi elettronici. Si può con sicurezza affermare che tutto l'enorme progresso compiuto da questa nostra tecnica, in un numero relativamente breve di anni, è dovuto all'invenzione, alla applicazione ed al successivo perfezionamento della valvola termoionica.

Questo importantissimo componente delle apparecchiature elettroniche, così come è attualmente realizzato in numerose versioni, è frutto delle ricerche, delle scoperte. e delle invenzioni di molti tecnici e scienziati. In realtà, per analizzarne gli sviluppi progressivi sin dalle origini — ossia dalle scoperte che diedero adito agli attuali perfezionamenti — sarebbe necessaria una lunga dissertazione che esulerebbe dal compito che ci siamo prefissi. Tuttavia, da un punto di vista pratico, si può affermare che la radiotecnica moderna ha avuto origine verso la fine del secolo scorso, quando cioè, nel 1883, Thomas A. Edison compì per la prima volta alcuni esperimenti con le lampade a filamento incandescente.

SVILUPPO della VALVOLA TERMOIONICA

La lampada a filamento incandescente di Edison può essere considerata, in un certo senso, come « capostipite » o « prototipo » della valvola elettronica moderna. Edison si accorse che sulla parte interna del bulbo di questo tipo di lampada si manifestava, col tempo, la presenza di un deposito scuro. Nelle ricerche effettuate per spiegare il fenomeno, egli inserì un secondo conduttore facente capo ad una placchetta, all'interno della lampada, realizzando così il diodo nella sua struttura fondamentale, e notò che — collegando il relativo terminale al polo positivo della batteria di accensione del filamento stesso — tramite un amperometro — quest'ultimo denotava un passaggio di corrente (vedi **figura 1**) attraverso lo spazio presente tra detto filamento e la placchetta. In condizioni normali, questo dispositivo costituiva un circuito aperto a causa della mancanza di contatto diretto tra i due organi contenuti nel bulbo. Di conseguenza, il passaggio di corrente che aveva luogo, in conformità alle cognizioni a quel tempo in vigore relative ai circuiti elettrici, era considerato una cosa assurda, proprio a causa del fatto che il circuito era aperto. Edison non riuscì a trovare una spiegazione soddisfacente per questo fenomeno che fu tuttavia reso noto col nome di « effetto Edison ».

Più tardi, nel 1899, una spiegazione venne fornita dallo scienziato inglese, Sir J. Thomson. Egli, infatti, introdusse una teoria secondo la quale, particelle negative di elettricità, chiamate elettroni, venivano emesse dal filamento delle lampade di Edison, allorchè il filamento stesso era posto in funzione diventando incandescente. Oltre a ciò, egli trovò che questi elettroni, a causa della loro carica negativa, venivano attratti dalla piastrina polarizzata con una carica positiva. Di conseguenza, finchè il filamento era mantenuto ad una certa temperatura, si aveva un passaggio di elettroni da quest'ultimo alla placca. Tale movimento di elettroni determinava una vera e propria corrente elettrica che costituiva pertanto un « ponte di comunicazione » tra i due elettrodi. Essa infatti univa, attraverso il vuoto, il filamento alla placca, chiudendo il circuito.

La scoperta di Thomson fu resa nota col nome di **teoria elettronica.** Come abbiamo visto nella lezione 4ª, secondo questa teoria, l'atomo di qualsiasi sostanza viene considerato come composto di particelle infinitamente piccole, ossia di cariche singole costituite da particelle negative o elettroni i quali vengono trattenuti in orbite intorno ad un nucleo centrale formato invece da particelle positive dette protoni. Ciò a causa di una data forza di attrazione. In determinate condizioni, come ad esempio con l'applicazione di una certa temperatura, alcuni elettroni contenuti in determinati elementi possono essere liberati. Quest'ultima teoria — di estrema importanza — diede adito a successive ricerche e consentì notevoli sviluppi nella realizzazione delle valvole elettroniche.

Avvantaggiandosi delle cognizioni fino allora acquisite, altri scienziati compirono ulteriori ricerche. Tra i passi successivi, uno dei più importanti venne compiuto dallo scienziato inglese J. A. Fleming, il quale progettò e tradusse in pratica la prima vera e propria *valvola elettronica.* Fleming notò che, nella lampada realizzata da Edison, allorchè la placchetta veniva connessa al polo nega-

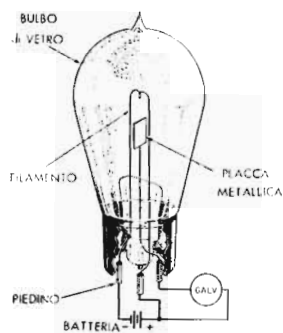



Fig. 1 — Il passaggio di corrente tra il filamento incandescente ed una placca metallica, fu il fenomeno rilevato da Edison.

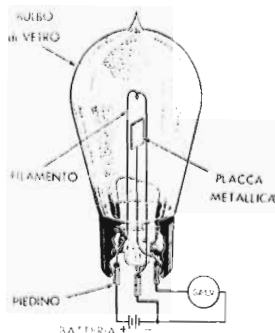



Fig. 2 — Fleming notò che, collegando la placca metallica al polo negativo della batteria d'accensione, il passaggio di corrente cessava.

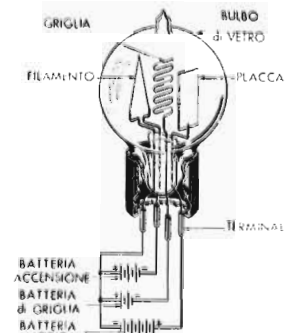



Fig. 3 — Con l'inserzione di un terzo elemento, detto « griglia », collocato sul percorso degli elettroni, L. De Forest pervenne al triodo.

tivo della batteria invece che al polo positivo, come illustrato nella **figura 2**, la corrente assumeva il valore zero, ossia cessava di scorrere. Questa caratteristica costituì la base della scoperta del funzionamento di questo dispositivo come elemento rettificatore. Infatti ciò consentiva di usarlo per convertire una corrente alternata in corrente continua. Fleming chiamò la sua versione modificata della lampada a due elettrodi di Edison col nome di « valvola » (questo termine infatti è tuttora di uso comune in Inghilterra come in Italia).

Incidentalmente osserveremo che, purtroppo, molte volte è dato di trovare in suo luogo impiegato il bruttissimo termine di « tubo » ciò che, tra l'altro, può condurre anche ad equivoco dato che — in elettronica — con « tubo » è più propriamente inteso un altro organo che studieremo a suo tempo.

In tal modo Fleming realizzò un dispositivo rivelatore avente prestazioni migliori di quello, assai meno sensibile, basato sull'impiego di un cristallo, in quel tempo adottato nel radioricevitore tipico di Guglielmo Marconi.

Il rivelatore a cristallo veniva anch'esso sviluppato parallelamente: infatti, seguendo gli esperimenti compiuti da numerosi predecessori, Marconi realizzò nel 1901 la storica trasmissione del segnale corrispondente alla lettera *S* dell'alfabeto Morse (3 punti) attraversando l'Oceano Atlantico.

Con l'avvento della valvola di Fleming si riunirono le due linee principali di ricerche dalle quali trasse origine l'attuale sviluppo della radiotecnica.

La valvola di Fleming aveva complessivamente due elettrodi, ossia un **filamento** che aveva il compito di emettere gli elettroni allorchè veniva portato all'incandescenza, ed una **placca** facente capo ad un terminale esterno, la quale attirava detti elettroni allorchè era polarizzata con un potenziale positivo. Per diversi anni essa fu l'unico dispositivo elettronico impiegato. A questo punto sembrò che il progresso delle comunicazioni mediante telegrafia senza fili avesse raggiunto un limite non superabile, determinato dai metodi a quel tempo esistenti e dai dispositivi adottati per trasmettere e per ricevere segnali radio.

I trasmettitori più potenti, fino ad allora realizzati, consentivano di trasmettere segnali che venivano ricevuti da apparecchi installati alla distanza di diverse centinaia di migliaia di chilometri. Tuttavia, la ricezione era ancora incerta. La portata delle comunicazioni radio poteva essere aumentata soltanto in seguito alla applicazione di un metodo che consentisse di amplificare i segnali eccessivamente deboli.

Il tipo di valvola termoionica creato da Lee De Forest nel 1907 permise di realizzare un dispositivo di amplificazione. Più tardi ancora, gli ulteriori miglioramenti apportati a questo tipo di valvola resero possibile la ricezione di segnali radio milioni di volte più deboli, troppo deboli in effetti per essere resi udibili senza alcuna amplificazione.

De Forest, inserendo un terzo elettrodo avente una forma a spirale, nello spazio presente tra il filamento e la placca della valvola di Fleming, creò la valvola amplificatrice (vedi **figura 3**). Egli chiamò questo terzo elettrodo col nome di **griglia di controllo.**

Essa consentiva l'azione di amplificazione, in virtù del fatto che una corrente di placca relativamente elevata e variazioni della tensione di placca potevano essere entrambe controllate mediante piccole variazioni della tensione di polarizzazione di detta griglia, senza per altro che fosse necessaria la dissipazione di una potenza apprezzabile nel circuito di controllo.

De Forest, chiamò la sua valvola a tre elettrodi col nome di *audion*; questo nome però fu in seguito sostituito da quello attualmente in uso, e precisamente dal nome **triodo** (tre elettrodi), che rappresenta — è evidente — un passo avanti nei confronti della valvola a due elettrodi, il cui nome è invece **diodo.**

La valvola consiste dunque in un'ampola di vetro nella quale è stato praticato il vuoto, e nella quale sono racchiusi i vari elementi che la compongono. Quando a detti elementi, come abbiamo visto, vengono applicate determinate tensioni, si verifica tra loro un passaggio di corrente che viene utilizzato per il funzionamento dell'apparecchio. Grazie alla facilità con cui è possibile controllarne la corrente, le valvole possono compiere le seguenti funzioni:

Amplificare i segnali a radiofrequenza; mescolare segnali di frequenza diversa; rettificare una c.a. trasformandola in c.c. pulsante, e perciò rivelare; amplificare i segnali ad audiofrequenza; generare segnali di qualsiasi frequenza.

PRINCIPIO della EMISSIONE ELETTRONICA

Sappiamo già che le sostanze metalliche possono con-

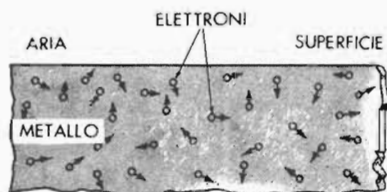



Fig. 4 A — Gli elettroni, pur essendo dotati di proprio movimento, non possono allontanarsi dalla superficie metallica cui appartengono, perchè la loro velocità di rotazione non vince l'attrazione del nucleo.

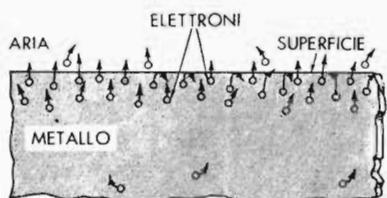



Fig. 4 B — Se viene aumentata la temperatura di un metallo, ad un certo momento gli elettroni raggiungono una velocità tale per cui — per forza centrifuga — possono staccarsi dal nucleo ed abbandonare così il metallo: si ha l'« emissione termoionica ».

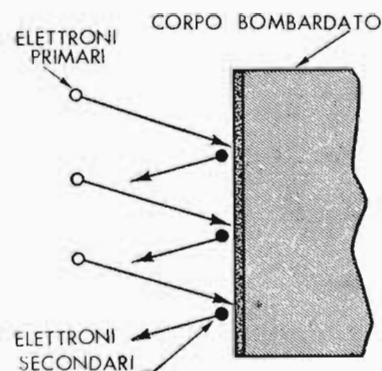



Fig. 5 — Esempio di emissione « secondaria » in seguito a bombardamento elettronico.

durre l'elettricità in quanto alcuni degli elettroni contenuti nel materiale non sono rigidamente attaccati agli atomi di cui fanno parte, bensì possono muoversi attraverso il conduttore stesso, sotto forma di « elettroni liberi » costituendo così un passaggio di corrente, non appena il conduttore viene sottoposto ad una differenza di potenziale.

Gli elettroni hanno inoltre un loro movimento vibratorio, la cui velocità aumenta con l'aumentare della temperatura del conduttore: se detta temperatura è normale essi non possono allontanarsi dalla superficie metallica alla quale appartengono, in quanto la velocità di rotazione non è tale da vincere, per forza centrifuga, la forza di attrazione esercitata su di essi dal nucleo di ogni singolo atomo; tuttavia, appena viene raggiunta una certa temperatura, essi raggiungono una velocità tale da permettere loro di allontanarsi dal metallo di cui fanno parte (vedi **figura 4**).

L'energia necessaria per provocare tale fenomeno viene normalmente fornita sotto forma di calore: la quantità necessaria per liberare gli elettroni costituisce la « funzione di lavoro » della sostanza.

L'emissione di elettroni da parte di una sostanza portata ad una certa temperatura prende il nome di **emissione termoionica.** Il corpo dal quale detti elettroni si dipartono viene denominato *emettitore* o **catodo**. A ciò bisogna aggiungere che la quantità di elettroni liberati dalla superficie del catodo aumenta con l'aumentare della temperatura, e col diminuire della pressione atmosferica intorno al catodo stesso, per cui, se quest'ultimo viene riscaldato in un involucro ermeticamente chiuso nel quale sia stato fatto il vuoto precedentemente, diventa una sorgente di elettroni.

L'emissione termoionica viene inoltre denominata a volte « emissione primaria », allo scopo di distinguerla da un altro tipo detto « emissione secondaria ». La prima avviene per emissione diretta da parte di un catodo riscaldato nel vuoto, mentre la seconda avviene da parte di una superficie a sua volta bombardata da elettroni provenienti da una emissione primaria (vedi **figura 5**). Quando, ad esempio, una corrente elettronica colpisce ad alta velocità una superficie metallica, essa cede agli elettroni che vi si trovano una quantità di energia sufficiente affinchè gli stessi si liberino dalla barriera potenziale, e, sebbene nella figura si veda che un solo elettrone viene liberato per ogni elettrone primario incidente, in realtà il numero può essere molto maggiore, a seconda del materiale: questo è il sistema basilare per la produzione dei raggi X usati in medicina e nell'industria.

Un altro metodo per provocare una emissione elettronica è basato sulla applicazione della luce, in quanto quest'ultima, essendo una radiazione elettromagnetica, è anch'essa una forma di energia. Di ciò — il lettore ricorderà — ci siamo già occupati sommariamente alla lezione 14ª. Le ragioni che determinano tale emissione esulano per il momento dal compito che ci proponiamo, comunque ci basterà sapere che esistono delle sostanze, cosiddette « fotosensibili », le quali emettono degli elettroni se vengono colpite dalla luce mentre sono sotto vuoto. Come avviene per l'emissione termoionica nei confronti della temperatura, la quantità di elettroni emessi varia a seconda della intensità della luce (**figura 6**). Questo tipo di emissione viene denominato « fotoelettrica », e su di esso si basano innumerevoli dispositivi, come ad esempio la lettura delle colonne sonore delle pellicole cinematografiche, le apparecchiature di allarme, i contatori elettromeccanici, i dispositivi per l'apertura e chiusura automatica delle porte, ecc.

Un altro tipo di emissione è quella denominato emissione a catodo freddo, dovuto alla forza di attrazione esercitata da una forte tensione, ossia da una forte differenza di potenziale, tra due corpi metallici, ma, poichè tale emissione può essere provocata soltanto mediante tensioni elevatissime, viene sfruttata solo per scopi particolari che non ci riguardano, come ad esempio la metallizzazione sotto vuoto di sostanze non conduttive.

Tipi di emettitori o catodi

Le sostanze che possono essere portate alla temperatura necessaria per una emissione elettronica soddisfacente, senza per altro fondere, sono poche; tra di esse prevalgono il tungsteno, il torio, l'ossido di bario ed altri ossidi (a questo scopo vengono depositati su una superficie metallica). Sono questi i materiali normalmente usati per la fabbricazione dei catodi nelle valvole termoioniche.

Il tungsteno ha notevole durata come emettitore, ma assorbe molta energia per raggiungere l'alta temperatura necessaria ad una buona emissione. Per questo motivo i catodi di tungsteno vengono impiegati esclusivamente nelle valvole di grande potenza. L'emettitore di tungsteno toriato porta su di un corpo in tungsteno un sottile

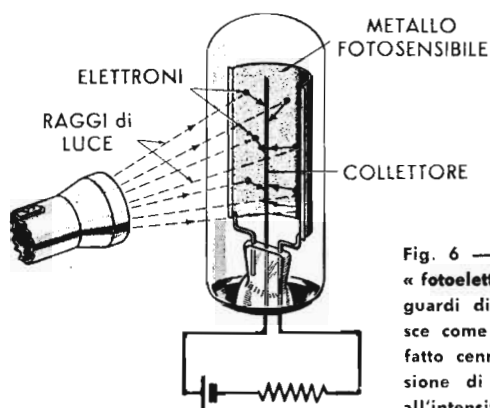



Fig. 6 — Esempio di emissione « fotoelettrica ». La luce, nei riguardi di determinati corpi, agisce come il calore al quale si è fatto cenno: si ha così un'emissione di elettroni proporzionale all'intensità della luce incidente.

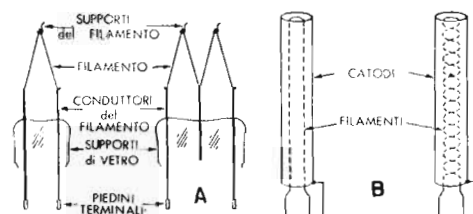



Fig. 7 — Il « catodo », cioè l'elemento che, riscaldato, emette gli elettroni, può essere formato, come in A, da un filamento (riscaldamento diretto) oppure — vedi B — da un tubetto che riceve il calore indirettamente (riscaldamento indiretto) dal filamento che, in questo caso, non ha più funzione elettronica diretta.

strato di torio il cui spessore è « monomolecolare », ossia è pari a quello di una sola molecola; ha il vantaggio di permettere una emissione elettronica abbondante con una temperatura inferiore a quella necessaria per il solo tungsteno. I catodi di questo tipo vengono impiegati per la costruzione di valvole funzionanti con tensioni di placca variabili da 500 a 5.000 volt.

Gli emettitori coperti con strati di ossido, infine, consistono in un supporto metallico, (generalmente di nichel), rivestito di una composizione di ossido di bario e di stronzio, depositato come strato monomolecolare; hanno una notevole efficienza, accompagnata da una lunga durata (funzione di lavoro) e per questo vengono impiegati per la costruzione della maggior parte delle valvole riceventi.

Riscaldamento del catodo

I catodi possono essere a riscaldamento **diretto** o **indiretto**. Il primo tipo è costituito direttamente dal filamento, come è illustrato nella sezione **A** della **figura 7**. Il riscaldamento è provocato dalla corrente che percorre il filamento, come avviene in una comune lampadina. In questo caso, il filamento stesso è l'elettrodo emettitore. Il secondo tipo è costituito da un tubetto metallico ricoperto da uno strato di ossido caratterizzato da una notevole attitudine ad emettere elettroni, isolato elettricamente dal filamento in esso contenuto. L'incandescenza di quest'ultimo ne determina il riscaldamento, come è illustrato nella sezione **B** della figura.

L'emissione elettronica aumenta con l'aumentare della temperatura, tuttavia, se la corrente che circola è eccessiva, il filamento fonde e si interrompe. Il valore della corrente necessaria, unitamente a quello della tensione opportuna per provocarla, viene enunciato dal fabbricante della valvola, per cui, per un uso corretto, è necessario osservare sempre, esattamente, tali valori. Inoltre, poichè la temperatura del filamento aumenta con l'aumentare della corrente che lo percorre, l'emissione aumenta fino ad un valore massimo che non può essere superato con nessun aumento di temperatura: si raggiunge così la « corrente critica » la quale, a sua volta, determina la « temperatura critica ».

Tutte le valvole sono denominate secondo un codice speciale costituito da lettere e da numeri. Generalmente, nella denominazione americana il primo numero indica approssimativamente la tensione di accensione. Nella denominazione europea, essa viene invece indicata da una lettera convenzionale. Ad esempio, la valvola 6L6 (americana), ha una accensione del filamento a 6 volt circa (esattamente 6,3), mentre la EF42 (europea) ha una accensione anch'essa a 6,3 volt ma è identificata sotto questo aspetto dalla lettera E con la quale si suole definire una serie di valvole che richiedono appunto 6,3 volt per il filamento.

Massima tensione di picco tra filamento e catodo

Una delle differenze sostanziali che sussistono tra le valvole a riscaldamento indiretto e quelle a riscaldamento diretto, è che nelle prime, le eventuali fluttuazioni della corrente di accensione del filamento non provocano alcuna variazione della corrente di emissione. Ciò è dovuto al fatto che la massa del catodo, una volta resa incandescente ad opera del filamento stesso, conserva tale stato con una notevole inerzia, anche se l'accensione viene sospesa completamente per qualche istante. Ciò non accade con le valvole nelle quali il filamento stesso agisce da catodo, in quanto la sua accensione è rapida tanto quanto lo spegnimento, ed è contemporanea rispettivamente all'applicazione o alla scomparsa della tensione, esattamente come avviene con le moderne lampadine di illuminazione.

Per contro, mentre le valvole ad accensione diretta entrano immediatamente in funzione non appena vengono accese, le altre, sempre a causa dell'inerzia della massa del catodo, richiedono un certo tempo (circa 30 secondi), per raggiungere la temperatura di funzionamento. Questo è il motivo per il quale i comuni apparecchi radio domestici, ad eccezione di quelli alimentati a batterie e dei tipi moderni a transistori, tardano qualche secondo ad entrare in funzione dopo essere stati — come si suol dire — « accesi ».

Diremo infine, che l'uso dell'accensione indiretta è, per le funzioni di amplificazione, indispensabile allorchè l'accensione stessa viene effettuata con corrente alternata. Infatti, se l'accensione fosse diretta, l'emettitore stesso sarebbe percorso dalle pulsazioni di detto tipo di corrente e queste ultime influirebbero (sotto forma di ronzio) sull'azione amplificatrice.

È importante rilevare che, nell'uso delle valvole a riscaldamento indiretto, è necessario prestare la massima attenzione onde evitare che il catodo venga polarizzato

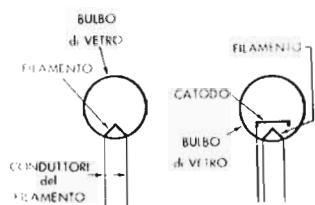



Fig. 7 bis — Gli elementi sin qui esaminati, vengono riprodotti come sopra indicato, negli schemi elettrici nei quali entrano a far parte.

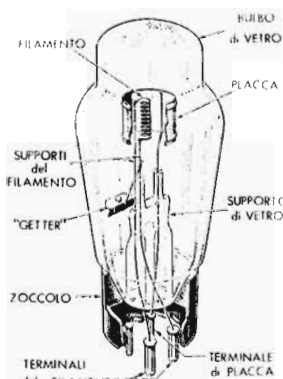



Fig. 8 — Struttura completa di una valvola a diodo. Il « getter » serve ad assorbire residui gassosi.

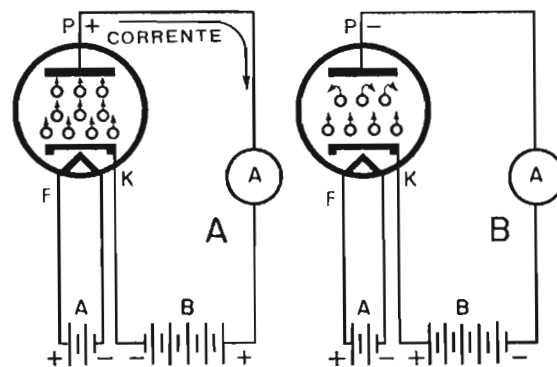



Fig. 9 — Un diodo è conduttore, tra catodo e placca, solo allorchè quest'ultima è positiva rispetto al catodo: in caso contrario, il circuito è aperto.

nei confronti del filamento con un potenziale notevolmente diverso da quello denunciato dal fabbricante, ciò in conseguenza della minima distanza esistente tra i due elementi. Detto potenziale varia da valvola a valvola; esso rappresenta la massima tensione che può sussistere, anche per un solo istante, tra i due elettrodi, senza che si producano scariche elettriche. Come si è detto, tale tensione è riportata nell'elenco delle caratteristiche delle valvole; normalmente, non supera di molto i 90 volt per la maggior parte delle comuni valvole per ricevitori.

La placca

Gli elettroni liberi usciti dal catodo, gravitano internamente alla valvola intorno al catodo stesso. Tuttavia, se nella valvola si trova una placchetta metallica avente un potenziale positivo nei confronti del primo, essi, come abbiamo già detto, ne vengono attratti.

In una valvola termoionica, la placca, chiamata anche comunemente « anodo », è costituita da un cilindro metallico (di nichel, molibdeno, tungsteno, rame, ferro o tantalio) o di grafite, che circonda il catodo ad una certa distanza (vedi **figura 8**).

IL DIODO

Principi costruttivi

Il tipo più semplice di valvola termoionica è il diodo, così chiamato — come si è detto — in quanto consta di due elettrodi; un emettitore o catodo, ed una placca.

Questo tipo di valvola, come tutti gli altri di cui ci occuperemo in seguito, può essere ad accensione diretta o indiretta. Sia che venga adottato l'uno o l'altro dei citati sistemi di riscaldamento, il funzionamento è sostanzialmente sempre eguale. La figura 8 illustra la sezione di un diodo nonchè la rappresentazione schematica dei due tipi, quello ad accensione diretta e quello ad accensione indiretta.

Funzionamento

Quando la placca di un diodo viene collegata al terminale positivo di una batteria e il catodo viene collegato a quello negativo, la prima viene ad essere positiva rispetto al secondo. Dal momento che gli elettroni emessi dal catodo sono particelle negative, essi vengono attratti dalla placca, come è illustrato alla **figura 9 A**. Gli elettroni scorrono quindi dal catodo alla placca internamente alla valvola, e, attraverso la batteria, tornano dalla placca al catodo. Questo flusso di corrente, chiamato corrente di placca o **corrente anodica**, può essere misurato dal milliamperometro « A » inserito nel circuito di placca.

Se la reciproca polarità viene invertita, la placca, logicamente, viene ad essere negativa rispetto al catodo, come in **figura 9 B**. In tal caso, non vi è più forza di attrazione da parte della placca, la quale anzi respinge gli elettroni che sono sempre particelle negative: la corrente anodica cessa di scorrere. Da quanto sopra deduciamo che **il diodo è conduttore quando la placca è positiva rispetto al catodo, e non conduttore nel caso contrario.** Ciò permette il suo impiego per due importantissime funzioni: la rettificazione e la rivelazione.

Ci occuperemo qui del primo compito mentre la funzione relativa alla rivelazione, alla quale si è già fatto un sommario cenno in altre lezioni (rivelazione a cristallo) sarà dettagliatamente illustrata in seguito.

Curve caratteristiche

Una curva caratteristica è un grafico che esprime il comportamento di un dispositivo. Nel nostro caso, essa rappresenta le varie correnti anodiche, in funzione delle tensioni applicate agli elettrodi e viceversa. I simboli adottati sono I_p ed E_p, rispettivamente per la corrente e per la tensione di placca; si può quindi affermare che la curva caratteristica di un diodo è una curva E_p-I_p. La corrente di placca non è altro che la quantità di corrente che scorre attraverso la valvola. Il potenziale di placca è il valore della tensione anodica relativo alla tensione applicata al catodo.

La curva caratteristica di un diodo viene ricavata collegando alla placca un potenziale variabile, come illustrato alla **figura 10 A**. In essa il voltmetro, « V », indica la tensione di placca corrispondente ai vari punti di collegamento alla batteria. Il milliamperometro, « MA », indica la corrente anodica corrispondente alle varie tensioni. Quando il voltmetro indica « zero », anche la corrente anodica è zero; mano a mano che il contatto della batteria si sposta verso destra, il potenziale positivo applicato alla placca aumenta. Quando la tensione di placca aumenta, aumenta anche la corrente anodica.

La sezione **B** della figura 10 illustra il circuito che

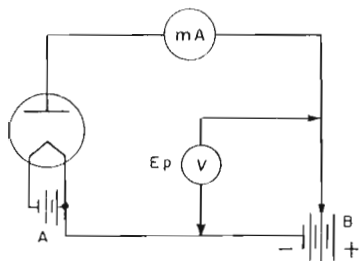



Fig. 10 A — Trascrivendo le letture del voltmetro « V » e del misuratore di corrente « mA » — dopo spostamenti successivi della presa sulla batteria « B », si può tracciare una curva caratteristica del diodo.

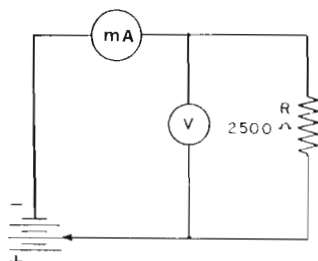
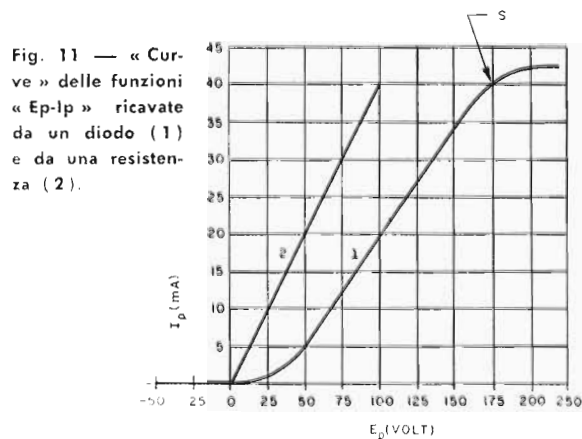



Fig. 10 B — Analogamente a quanto effettuato nei riguardi del diodo — figura a lato — si può ricavare una « curva » nei riferimenti di una resistenza « R ». I due risultati sono visibili alla figura 11.

Fig. 11 — « Curve » delle funzioni « Ep-Ip » ricavate da un diodo (1) e da una resistenza (2).

necessita per tracciare la curva *I-E* di una semplice resistenza.

I valori di E_p e di I_p della valvola per ogni diversa presa di tensione sulla batteria vengono segnati (traccia 1) sul grafico della **figura 11**. Appare evidente che, ad eccezione delle curvature presenti alle estremità, la curva in se stessa è una linea retta. Ciò significa che, ad ogni aumento della tensione di placca E_p, corrisponde l'attrazione da parte di questa di un maggior numero di elettroni Quando E_p raggiunge il valore di 175 volt la curva comincia a flettersi; quando perviene al valore di 200 volt diventa addirittura orizzontale. A questo punto, per quanto si aumenti E_p, I_p non può più aumentare, a meno che non si aumenti la temperatura del catodo onde aumentare l'emissione elettronica. Ciò però non è consigliabile in quanto diminuisce la durata della valvola.

Due dei termini che spesso vengono citati nel riferimento a curve caratteristiche sono *lineare* e non *lineare*. Il significato del primo è chiaramente illustrato nella **figura 12** sezione **A**. Ad esempio, se si applica una tensione continua ai capi di una resistenza, la relazione che intercorre tra la tensione (prima grandezza) e la corrente (seconda grandezza), è — come ben sappiamo — rappresentabile con una linea retta inclinata. Se una delle due grandezze varia, la variazione corrispondente della seconda è direttamente proporzionale alla variazione della prima. Questa relazione viene definita « lineare » in tutta la gamma delle possibili variazioni.

In tal caso, il termine « curva » è usato in modo improprio, in quanto l'espressione grafica non è una curva, bensì — ripetiamo — una linea retta. Nei confronti delle valvole elettroniche, si può affermare che non sempre la curva caratteristica delle relazioni tra corrente e tensione è lineare in tutta la sua lunghezza, come abbiamo testè visto per il diodo.

La figura 12 **B** rappresenta una curva, alla quale ci siamo già riferiti, del tipo che si incontra più comunemente nello studio delle caratteristiche di una valvola. Detta curva, a partire dall'origine in basso a sinistra, è « non lineare » per un certo tratto, al quale corrisponde una determinata gamma di valori della tensione applicata. Proseguendo verso l'alto, essa percorre un tratto « lineare » per poi riprendere un andamento non lineare. È molto importante che il lettore impari a distinguere i tratti lineari e non lineari di una curva caratteristica, in quanto, specialmente in seguito, allorchè verranno trattati gli argomenti della rivelazione e della amplificazione, ad essi verranno fatti frequenti riferimenti.

La mancanza di linearità all'inizio della curva è dovuta alla *carica spaziale* di elettroni liberi, vaganti intorno all'elettrodo emettitore. Non appena la tensione anodica positiva raggiunge un valore tale da determinare il totale spostamento alla volta dell'anodo stesso, il fenomeno non sussiste più, e la curva diventa rettilinea.

Come si è già precedentemente accennato, l'aumento del potenziale di placca determina un aumento della corrente anodica, fino però ad un punto detto di **saturazione**, contrassegnato con *S* nella curva di figura 11. Oltre tale punto (ossia tale valore di tensione anodica), qualsiasi ulteriore aumento della stessa, si è detto, non determina più alcun aumento di corrente, in quanto il catodo non può emettere un numero maggiore di elettroni. Da tal punto il lato superiore della curva riprende, come in basso, un andamento non lineare.

Questo fenomeno non può verificarsi con una semplice resistenza, poichè gli elettroni che la percorrono provengono direttamente dalla sorgente di alimentazione; l'unica condizione imposta è che l'intensità della corrente non superi il valore massimo che può essere tollerato, e che è in funzione della possibilità di dissipazione in watt da parte della resistenza. Per contro, in una valvola, dal momento che il passaggio della corrente ha luogo grazie all'emissione di elettroni da parte del catodo, il massimo valore della corrente è in funzione della possibilità di emissione del catodo stesso, la quale possibilità non è illimitata.

La curva caratteristica di una valvola è di grande importanza. Essa mostra esattamente come un diodo funzioni in un determinato circuito. Lungo il tratto rettilineo, il diodo si comporta esattamente come una comune resistenza, la linea retta (*2*) presente nella figura 11 illustra appunto la « curva » *I-E* di una resistenza. In altre parole, il diodo funziona come una resistenza che permette il passaggio di una corrente proporzionale alla tensione applicata. L'unica differenza tra il diodo e la resistenza sta nel fatto che nel diodo la corrente può passare in un solo senso, e che il suo valore resistivo è costante solo se esso funziona lungo il tratto rettilineo della curva.

Curve multiple o « «famiglie di curve »

Normalmente il fabbricante enuncia, per ogni tipo di valvola, diverse curve caratteristiche, contemporaneamen-

Fig. 12 A — « Curva » a caratteristica « lineare ». Se varia una delle grandezze, anche l'altra varia, in misura direttamente proporzionale. Il termine di « curva » è qui, evidentemente, improprio.

Fig. 12 B — Curva con andamento lineare e non lineare: è caratteristica del diodo. Nella parte inferiore la non linearità dipende dalla « carica spaziale », in quella superiore, dalla « saturazione ».

Fig. 13 — Più curve sullo stesso grafico rappresentano una « famiglia di curve ». In questo caso, A, B e C sono curve riferite a diverse temperature del catodo della stessa valvola.

te. Esse — oramai ci è noto — hanno lo scopo di illustrare le relazioni che intercorrono tra due medesime grandezze, in diverse condizioni di funzionamento. Un gruppo di curve, rappresentate tutte sul medesimo grafico, costituisce una **famiglia di curve**; ciò è illustrato in **figura 13**. In essa sono rappresentate diverse curve della relazione tra corrente di placca (anodica) e tensione di placca, corrispondenti a varie temperature del catodo. Per un determinato valore della tensione anodica, la corrente relativa raggiunge il valore massimo all'apice della curva *A*. Di conseguenza, quest'ultima è riferita alla massima temperatura del catodo. La curva *B* denota una diminuzione di detta temperatura, la quale assume il suo valore minimo (ossia appena sufficiente per determinare una emissione apprezzabile da parte del catodo), in corrispondenza della curva *C*.

Le curve caratteristiche, o famiglie di curve, che si trovano sui testi e nei bollettini di dati forniti dai fabbricanti di valvole, sono normalmente riferite alla intensità della corrente attraverso la valvola. La più comune, è appunto quella che esprime detta intensità in funzione dei vari valori della tensione positiva applicata alla placca. In altre parole, ripetiamo, si tratta della caratteristica tensione-corrente di placca. Esistono tuttavia altri tipi di curve, semplici e complesse, delle quali ci occuperemo mano a mano che progrediremo nello studio delle valvole termoioniche.

La resistenza interna

La resistenza di un diodo (detta resistenza interna) può essere individuata mediante la legge di Ohm, come segue: $R = E : I$

nella quale *R* è la resistenza in ohm, *E* la tensione anodica in volt, ed *I* la corrente anodica in ampère.

In ogni punto della curva caratteristica, esiste una data corrente, I_p, corrispondente ad una data tensione di placca, E_p. Di conseguenza, la resistenza di placca R_p è data, per ogni punto della curva, da: $R_p = E_p : I_p$.

La resistenza di placca della maggior parte dei diodi a valvola è di circa 500 ohm quando il diodo conduce; quando invece la tensione di placca è inferiore a quella del catodo, il diodo — come sappiamo — non conduce e, naturalmente, I_p è zero. La resistenza di placca in quest'ultimo caso è infinita. È interessante notare che il diodo agisce praticamente come un interruttore aperto quando la placca è negativa, e viceversa. Pertanto, se la polarità di placca si inverte rapidamente, esso funziona come un interruttore che si apre e che si chiude con la medesima frequenza della inversione di polarità.

Il diodo come rettificatore di una semionda

Il compito principale del diodo è di raddrizzare la corrente alternata, ossia di convertirla in corrente continua. Ciò è possibile, dato che esso permette, come abbiamo testè visto, il passaggio della corrente in un unico senso. Così, se alla placca viene applicato un potenziale alternato, la corrente circola soltanto durante la semionda cui la placca ha valore positivo rispetto al catodo.

La **figura 14** illustra lo schema di collegamento di un diodo come rettificatore di una semionda. Il primario del trasformatore è collegato alla rete di distribuzione della energia elettrica. Dei due secondari, uno, a bassa tensione, fornisce l'energia necessaria per l'accensione del filamento: l'altro, ad alta tensione, fornisce la tensione da rettificare. Uno dei terminali del secondario ad alta tensione è collegato direttamente al carico, il quale, a sua volta fa capo, dall'altro lato, al filamento (o al catodo) del diodo.

L'altro terminale dell'alta tensione è in diretto contatto con la placca. L'alta tensione (che è tale grazie all'elevato rapporto del numero di spire dell'avvolgimento relativo, rispetto al primario) rende detta placca successivamente positiva e negativa, a seconda delle alternanze della tensione. Non appena la tensione alternata viene applicata ai capi del primario, i due terminali dell'avvolgimento ad alta tensione diventano successivamente ed alternativamente negativi e positivi (rispetto al filamento) durante ogni ciclo della tensione alternata. Dal momento che la valvola permette il passaggio della corrente soltanto nella fase in cui la sua placca è positiva rispetto al filamento, ne consegue che la corrente scorre soltanto durante la metà di ogni ciclo. Da ciò, se la tensione applicata alla placca ha un andamento pari a quello della figura 14 **B**, la corrente d'uscita che percorre il carico ha invece l'andamento illustrato alla figura 14 **C**.

La curva caratteristica di un diodo dimostra per quale motivo esso rettifica. La **figura 15** riporta la curva E_p-I_p di un diodo, una tensione alternata di ingresso (sinusoidale) e la corrente continua (pulsante) presente in uscita.

All'inizio, la placca del diodo è a potenziale zero. Non

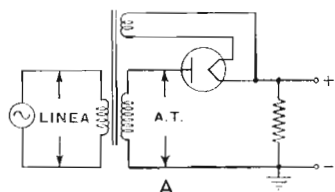



Fig. 14 — Diodo connesso come rettificatore di una semionda e andamento della tensione alla placca (in B) ed all'uscita (in C).

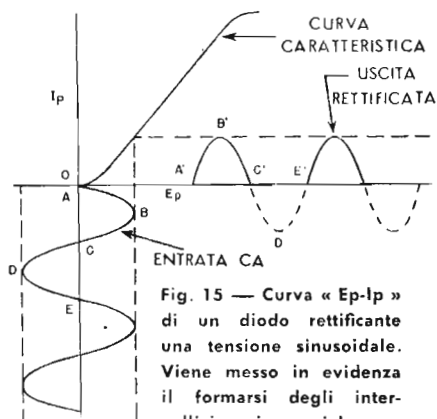



Fig. 15 — Curva « Ep-Ip » di un diodo rettificante una tensione sinusoidale. Viene messo in evidenza il formarsi degli intervalli in cui non si ha corrente in uscita.

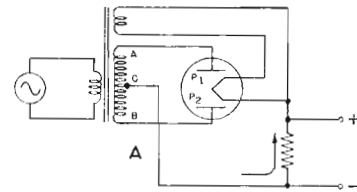



Fig. 16 — Doppio diodo in funzione di rettificatore di due semionde ed andamento della tensione alle placche (in B) ed all'uscita (in C).

appena la tensione alternata inizia la fase ascendente (positiva), la placca assume i successivi valori positivi da *A* a *B* a *C*, ivi comprendendo naturalmente tutti i valori intermedi non illustrati per semplicità di disegno. Ciò provoca il passaggio della corrente, la quale assume il valore corrispondente *A'*, *B'* e *C'*. Durante il semiperiodo da *C* a *D* ad *E* — invece — la placca assume valori negativi. Poichè con la placca negativa non si ha alcun passaggio di corrente al carico, ne consegue che, in uscita, si ha una serie di impulsi di corrente separati da intervalli in cui la corrente viene a mancare, aventi la medesima durata di quelli in cui essa è presente.

Allo scopo di livellare tali impulsi in modo da eliminare gli intervalli e le differenze di ampiezza, si usa, nel circuito di uscita, un filtro appropriato, costituito generalmente da condensatori e da impedenze o da resistenze. Tuttavia, proprio a causa di detti intervalli, la tensione rettificata su una sola semionda, non può essere livellata altrettanto bene quanto può esserlo quella rettificata su entrambe le semionde che, per tale fatto, non presenta intervalli.

Il diodo come rettificatore di due semionde

La rettificazione delle due semionde avviene per entrambi i semiperiodi di un ciclo di corrente alternata; essa viene effettuata con due diodi. Quest'ultimi possono essere uniti in una unica valvola detta « doppio diodo ». Ciascun diodo permette il passaggio della corrente durante una alternanza, secondo lo schema illustrato nella **figura 16.**

I filamenti o catodi dei due diodi sono in comune, ossia collegati tra loro, e spesso, come nella figura citata, sono costituiti da un unico filamento che appartiene contemporaneamente ad entrambi i diodi. I due terminali dell'avvolgimento ad alta tensione sono collegati alle due placche. La presa centrale fa capo ad una estremità del carico, il cui secondo terminale è in contatto con il filamento (o catodo) dei diodi.

La corrente alternata che scorre nel primario induce una tensione alternata nel secondario. Le due placche assumono alternativamente un potenziale positivo rispetto al catodo. Infatti, mentre una è positiva, l'altra è negativa, e viceversa.

Seguiamo ora il circuito partendo da ogni placca, attraverso la relativa metà dell'avvolgimento ad alta tensione ed il carico, fino a raggiungere il catodo. Supponiamo che, durante un semiperiodo, il terminale superiore, *A*, sia positivo rispetto al terminale *B*. Poichè la presa centrale *C* è a metà strada tra i due, il suo potenziale sarà negativo rispetto ad *A* e positivo rispetto a *B*. Quindi, dal momento che la presa centrale torna al filamento attraverso il carico, nell'istante da noi considerato P_1 è positiva rispetto al filamento stesso.

Gli elettroni emessi vengono attratti da P_1, percorrono l'avvolgimento ad alta tensione fino al punto *C*, dopo di che si dirigono verso il filamento attraverso il carico, nella direzione indicata dalla freccia.

Durante il semiperiodo successivo, invece, P_2 è positiva rispetto al filamento: essa quindi attrae gli elettroni che percorrono la relativa metà del secondario del trasformatore fino al punto *C*, dal quale raggiungono nuovamente il filamento attraverso il carico, sempre nel senso indicato dalla freccia.

Da ciò possiamo dedurre che la corrente che percorre il carico scorre sempre nel medesimo senso durante entrambe le semionde. Una tensione di ingresso pari a quella rappresentata in *B* della figura 14 determina nel carico una corrente analoga a quella rappresentata nella sezione *C* della medesima figura. È interessante notare che la frequenza delle pulsazioni di corrente continua così ottenute, è doppia di quella della tensione alternata di entrata. Ciò significa che se la tensione di alimentazione è alternata a 50 Hz, la corrente rettificata ha una frequenza di pulsazioni di 100 Hz. Questo è il motivo per cui il sistema può essere sfruttato in certi casi oltre che per rettificare, anche allo scopo di raddoppiare la frequenza di una corrente alternata. Questo sistema di rettificazione viene adottato nella maggior parte dei circuiti di alimentazione degli apparecchi elettronici, in quanto presenta il vantaggio di una maggiore possibilità di livellamento, dovuta al fatto che non esistono intervalli in cui la tensione è completamente assente. Occorre però tener presente che, in questo caso, dal momento che le due sezioni del secondario lavorano alternativamente, la differenza di potenziale tra i suoi estremi deve essere circa il doppio della tensione che si desidera avere in uscita. In compenso, poichè l'assorbimento di corrente avviene in una sola sezione, durante ogni ciclo completo, la dissipazione di potenza da parte del trasformatore rimane la stessa che si avrebbe in un circuito di rettificazione ad una sola semionda.

ALIMENTATORI

Abbiamo testè visto, nella lezione precedente, come una valvola abbia bisogno, per il suo funzionamento, di determinate tensioni. È risultato evidente altresì che alla valvola necessita una tensione detta di placca ed una distinta tensione detta di filamento o di accensione. Con gli apparecchi a valvola sorge pertanto il problema di provvedere adeguatamente in merito e si può fare ricorso, evidentemente, a diversi tipi di fonti, scegliendo quella che per le sue caratteristiche meglio risponde al particolare apparecchio.

L'assieme di organi o parti cui è affidato il compito di fornire le giuste tensioni è detto **alimentatore.** Si avranno, di conseguenza, alimentatori costituiti da generatori rotanti (per complessi portatili consumanti elevata potenza), da batterie di accumulatori, da batterie di pile ed infine, da circuiti e parti predisposte per utilizzare convenientemente la tensione della comune rete di illuminazione. Ci occuperemo, in questa lezione, di quest'ultimo tipo di alimentatore in quanto risulta di gran lunga il più diffuso e, come tale, parte integrante di moltissimi apparecchi elettronici.

Poichè, ad eccezione della tensione necessaria per i filamenti, che può essere alternata, l'uscita del circuito di alimentazione deve essere in grado di erogare corrente continua (vedremo più avanti, studiando il funzionamento della valvola, il perchè) una delle funzioni principali dell'alimentatore in questione consiste nella rettificazione della corrente alternata. A questo scopo si impiega una valvola (e qualche volta dispositivi ad ossido) per cui si può dire che è necessaria una valvola per alimentare le altre valvole. Tale valvola è un diodo (semplice o doppio, a riscaldamento diretto o indiretto) e già alla lezione precedente abbiamo visto, per sommi capi, come il fenomeno della rettificazione venga svolto in questa applicazione. Possiamo concludere che un alimentatore consiste in alcuni componenti essenziali, e che in esso individuiamo quasi sempre: un trasformatore, un dispositivo rettificante, un dispositivo di filtraggio ed un partitore di tensione. Volendo schematizzare un alimentatore nei suoi componenti, esso si presenterà pertanto come da **figura 1.**

COMPONENTI dell'ALIMENTATORE

Il trasformatore viene usato in quanto, mediante il suo impiego, è possibile aumentare o ridurre una tensione di qualsiasi ampiezza. Dato che la tensione disponibile della rete ha un valore fisso, è quasi sempre necessario elevarlo per giungere ai valori richiesti come tensione anodica, e ridurlo per i valori richiesti dalle accensioni. Essendo necessarie contemporaneamente tensioni diverse, a regimi diversi di corrente, ovviamente si perverrà ad un trasformatore a più secondari. Nel corso della lezione dedicata interamente ai trasformatori di alimentazione, abbiamo visto in dettaglio e la teoria di funzionamento e la tecnica costruttiva, con esempi di calcolo. Ricorderemo perciò quì, solamente, che assai spesso il trasformatore destinato ad un apparecchio radio è appunto provvisto di più secondari. Nel corso dello studio che segue, si tenga presente che, anche allorchè nei disegni illustrativi apparirà un trasformatore con un solo avvolgimento secondario, sarà perchè l'argomento verterà sull'esame della sola sua funzione: altri secondari, anche se non disegnati, sono quasi sempre presenti sullo stesso trasformatore, per l'accensione delle stesse raddrizzatrici di cui si discute e delle altre valvole alle quali si fornisce la tensione anodica.

Il dispositivo rettificante ha il compito, come dice il suo nome, di rettificare la corrente alternata. Essendo la corrente rettificata non perfettamente continua, è necessaria l'azione di filtraggio alla quale già si è fatto cenno. Per la rettificazione vi sono diversi dispositivi, e citeremo: la valvola elettronica, i rettificatori ad ossido, i raddrizzatori a cristallo, i raddrizzatori elettrolitici e i raddrizzatori a funzionamento meccanico. Per gli alimentatori impiegati nel campo elettronico, i sistemi più usati sono quelli che ricorrono alle valvole elettroniche ed ai raddrizzatori a ossido.

I tipi di impiego generale, per ciò che si riferisce alle valvole elettroniche, sono: **1)** i tipi ad alto vuoto e **2)** i tipi a gas. In linea di massima si può dire che le valvole ad alto vuoto sono impiegate allorchè necessitano alte tensioni, e quelle a gas allorchè abbisognano forti correnti.

Ricordando quanto già si è esposto in merito alla rettificazione di una o di due semionde, e, a titolo riassuntivo, riproduciamo ancora in **figura 2** un assieme rettificatore di una semionda, in **figura 3** quello di due semionde e passiamo quindi — anche per un immediato confronto — allo schema di **figura 4** che è relativo ad un rettificatore

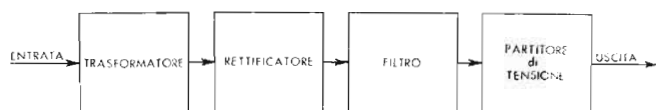



Fig. 1 — Un alimentatore, analizzato nei suoi elementi componenti, è quasi sempre formato da un trasformatore di collegamento alla rete, da un rettificatore (a valvola o a ossido), da un filtro della corrente rettificata (a ingresso capacitivo o induttivo) e da un assieme di resistenze (partitore) poste in parallelo all'uscita in modo da permettere la scelta di diverse tensioni.

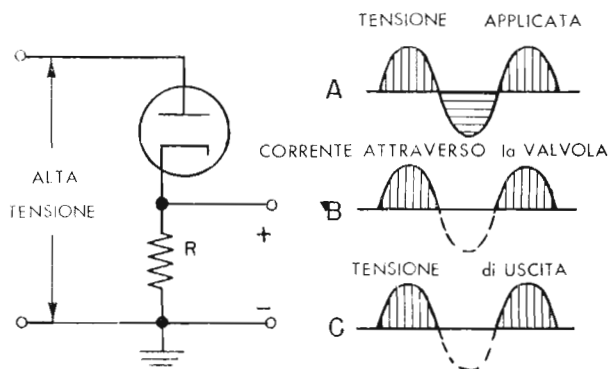



Fig. 2 — Raddrizzamento di una semionda e rappresentazione della tensione d'entrata nei confronti della corrente e della tensione d'uscita.

denominato **a ponte**, di cui ora esporremo le caratteristiche.

RETTIFICATORI a PONTE

Il circuito impiega quattro elementi rettificanti. La tensione di ingresso è applicata a due punti diagonalmente opposti del circuito, mentre l'uscita viene prelevata dagli altri due punti.

Durante un'alternanza, l'estremità superiore del secondario del trasformatore è positiva rispetto all'estremità inferiore. Tale tensione è presente tra: V_1, la resistenza di carico R e V_3, in serie tra loro: essa rende le placche di entrambe le valvole (V_1 e V_3) positive nei riguardi dei rispettivi catodi. Di conseguenza, le valvole V_1 e V_3 diventano conduttrici per la corrente. Quest'ultima perciò, scorre dal terminale inferiore del secondario, attraverso V_1, percorre la resistenza R (verso l'alto), attraversa V_3 e torna al secondario (verso il basso). Questo flusso di corrente attraverso la resistenza di carico, produce un impulso di tensione positiva all'uscita, al capo superiore della resistenza R.

Nel semiperiodo successivo, il terminale inferiore del secondario del trasformatore è positivo rispetto al terminale superiore. Le valvole V_1 e V_3 non conducono. La corrente scorre verso il basso attraverso V_4, verso l'alto nella resistenza R, indi verso il basso attraverso V_2, dopo di che ritorna (verso l'alto) al secondario del trasformatore.

Il primo percorso della corrente al quale si è fatto cenno, è indicato dalle frecce a tratto pieno sullo schema di figura 5; l'altro flusso è indicato dalle frecce a tratto interrotto.

A questo punto, è necessario notare che durante entrambi i semiperiodi la corrente che scorre attraverso la resistenza di carico R, risulta sempre nella stessa direzione. Tale corrente determina ai capi di R una tensione a polarità costante e, più esattamente, positiva al terminale superiore. Ciò ci dimostra che il tipo di raddrizzatore descritto funziona come rettificatore delle due semionde.

Un'altra caratteristica importante del rettificatore a ponte, consiste nel fatto che la tensione di uscita è quasi doppia di quella di un rettificatore convenzionale delle due semionde. Questo, in quanto l'intera tensione presente ai capi del secondario viene applicata al circuito, mentre nel raddrizzatore di tipo convenzionale le due metà del secondario ad alta tensione lavorano alternativamente. In conseguenza, per ottenere un'uscita, poniamo, di 1.000 volt, con un rettificatore a ponte, è necessario che il trasformatore fornisca una tensione leggermente superiore, mentre per ottenere la medesima tensione di uscita con un rettificatore convenzionale, il secondario del trasformatore di alimentazione dovrebbe fornire una tensione leggermente maggiore di 2.000 volt.

Le valvole, in un rettificatore a ponte, debbono sopportare una tensione di picco inversa, inferiore a quella presente nel rettificatore a due semionde precedentemente considerato. La *tensione di picco inversa,* è la tensione negativa applicata ai capi degli elementi rettificatori durante la fase in cui essi non conducono: se è troppo alta, può causare danno al raddrizzatore per rottura dell'isolamento.

Se due circuiti — un rettificatore a ponte, ed un rettificatore di tipo convenzionale a due semionde — hanno caratteristiche tali da consentire la medesima tensione continua di uscita, gli elementi del secondo tipo devono essere tali da poter sopportare una tensione inversa di valore quasi doppio di quella che può essere sopportata dagli elementi del primo. Ad esempio, se si desidera una tensione d'uscita di 1.000 volt, i diodi che costituiscono il rettificatore a due semionde sono sottoposti ad una tensione negativa di circa 1.000 volt, negli istanti in cui non conducono. Per contro, nel tipo a ponte, ciascun elemento deve sopportare in tali condizioni una tensione di soli 500 volt, in quanto gli elementi sono collegati in serie a due a due.

Il circuito rettificatore a ponte però, non è di uso comune nella realizzazione con valvole elettroniche poichè, in tal caso, si rende necessario per ciascuna di esse un trasformatore o almeno un avvolgimento separato per l'accensione di ciascun filamento. Nel caso poi si usino valvole raddrizzatrici a riscaldamento indiretto, vi è il fatto che, tra il filamento ed il catodo — come abbiamo affermato nella lezione precedente — non può sussistere un'eccessiva differenza di potenziale.

Nel circuito di figura 4, i catodi di V_2 e di V_3 hanno il medesimo potenziale. Tuttavia, il potenziale del catodo di V_1 è diverso da quello del catodo di V_2 e di V_3, come pure il catodo di V_4 ha un potenziale diverso da quello delle altre valvole. Di conseguenza, è indispensa-

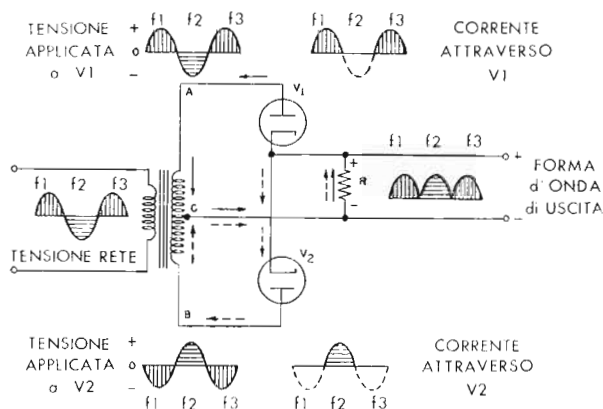



Fig. 3 — Raddrizzamento di due semionde e forme d'onda relative.

Fig. 4 — Circuito di rettificatore a ponte. Gli elementi di rettificazione funzionano due a due. Durante una semionda il percorso è: V_1 - R - V_3 (frecce a tratto intero); durante l'altra semionda è V_1 - R - V_2 (frecce a tratto interrotto). Le forme d'onda che compaiono nei diversi punti sono numerate in ordine progressivo.

bile adottare tre sorgenti separate di tensione per l'alimentazione di detti filamenti. Queste devono essere perfettamente isolate tra loro e rispetto alla massa, a causa delle forti differenze di potenziale a corrente continua che si manifestano in vari punti del circuito.

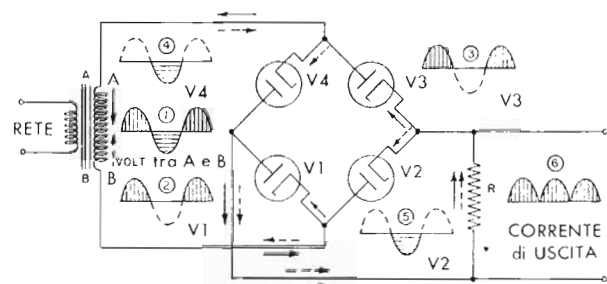
Questo svantaggio non si verifica invece nei circuiti di rettificazione a ponte nei quali vengono usati elementi rettificatori ad ossido. Questi ultimi non necessitano di una sorgente di energia per l'accensione; per questo motivo essi sono quasi sempre prescelti nella realizzazione di circuiti di questo tipo.

RADDRIZZATORI ad OSSIDO di RAME

Se si mettono in contatto tra loro due superfici di metalli diversi aventi uno spessore minimo, gli elettroni possono passare dall'una all'altra più facilmente in una direzione, che non in quella opposta. Le due combinazioni metalliche di uso più comune a tale scopo sono: una superficie di ossido di rame in contatto con rame puro, ed una superficie di selenio a contatto con ferro o con alluminio.

Questi elementi rettificatori sono rappresentati schematicamente dal simbolo illustrato in **figura 5**, peraltro già noto al lettore. Per una corretta interpretazione, occorre dire che il simbolo, stabilito prima che fosse adottata nel nostro campo la teoria elettronica relativa alla direzione del flusso, ha la punta della freccia rivolta nel senso di conduzione convenuto dalla teoria precedente, diremo così, da quella *elettrica*. Perciò è bene tenere presente che il raddrizzatore conduce, secondo i nostri schemi, nel senso opposto a quello interpretativo del suo simbolo.

Un diodo, abbiamo visto, compie la funzione di rettificazione in quanto gli elettroni scorrono più facilmente dal catodo alla placca che non dalla placca al catodo. Un rettificatore ad ossido di rame funziona in modo del tutto analogo, in quanto gli elettroni passano dal rame all'ossido di rame molto più agevolmente che non in direzione opposta. Analogamente, in un rettificatore al selenio, gli elettroni passano dal ferro o dall'alluminio al selenio, molto più agevolmente che non in senso opposto.

La **figura 6** illustra lo schema di un circuito nel quale un elemento rettificatore metallico compie la funzione di rettificazione di una sola semionda. In tal caso, l'elemento ad ossido di metallo si comporta esattamente come un diodo ad emissione termoionica. Gli elettroni — infatti — scorrono liberamente dall'elettrodo di rame a quello la cui superficie è cosparsa di ossido di rame, allorchè quest'ultimo è più positivo che non il primo.

Quando la tensione alternata di ingresso è positiva, il rettificatore conduce la corrente, come illustrato, nella direzione della freccia. Quando invece detta tensione è negativa, l'elettrodo di rame è positivo rispetto all'ossido, e, in tali condizioni, si ha soltanto il passaggio di una corrente di minima intensità.

La tensione di uscita non è perfettamente continua, proprio a causa della lieve corrente opposta che scorre durante i semiperiodi negativi.

Dal momento che lo strato di ossido di rame è estremamente sottile, esso non è in grado di sopportare una tensione molto elevata. Allorchè si desidera un funzionamento con tensioni notevoli, si riuniscono in serie vari elementi costituiti da strati alterni di rame e di ossido di rame. Tra di essi vengono inserite delle ranelle di un metallo malleabile, come ad esempio il piombo, onde assicurare una distribuzione uniforme della pressione di contatto tra i vari strati. Detta pressione è stabilita dal dado di chiusura avvitato su un perno coassiale con tutti gli elementi connessi in serie.

Dal momento che gli elementi rettificatori ad ossido di rame non sono adatti a sopportare elevate tensioni inverse, il loro impiego è alquanto limitato nei circuiti di rettificazione di una sola semionda.

Nei circuiti di rettificazione a ponte è possibile adottare sia i rettificatori ad ossido di rame che i tipi di selenio, in quanto la tensione inversa presente ai capi di ogni singolo elemento del ponte è in ogni caso relativamente bassa.

La **figura 7**, illustra lo schema di un rettificatore metallico ad ossido, del tipo a ponte. Allorchè il punto *A* è positivo rispetto a *B*, gli elementi 1 e 3 conducono, come illustrato dalle frecce in tratto continuo. Nel semiperiodo successivo — quando cioè *B* è positivo rispetto ad *A* — la conduzione, ossia il passaggio della corrente, avviene attraverso gli elementi 2 e 4, come illustrato dalle frecce tratteggiate. Si noti che la corrente che passa attraverso la resistenza di carico *R* ha la medesima direzione in entrambi i semiperiodi.

Entrambi i tipi ora descritti di rettificatori metallici sono adatti a fornire correnti rettificate di notevole in-

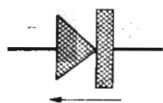



Fig. 5 — Simbolo rappresentante un rettificatore ad ossido. Si noti l'indicazione del senso di conduzione secondo l'uso elettronico.

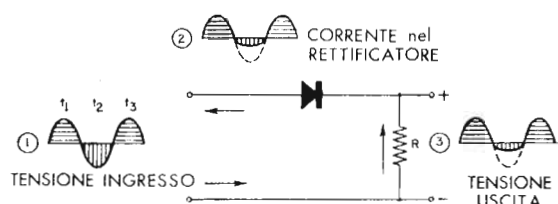



Fig. 6 — Circuito rettificatore di una semionda con impiego di elemento ad ossido. È evidente la maggiore semplicità di circuito rispetto all'uso di una valvola. Tensioni e corrente sono numerate in ordine progressivo.

Fig. 7 — Schema di raddrizzatore a ponte con elementi ad ossido. Conducono contemporaneamente 1 e 3 e, nella semionda successiva, 2 e 4. Le frecce a tratto intero indicano il primo percorso, e quelle tratteggiate il secondo. Si noti che, nella resistenza di carico R, vi è passaggio di corrente sempre, per cui si ha tensione continua per 2 semionde.

tensità, in quanto la superficie dei rispettivi elettrodi posta a contatto con quella degli elettrodi affacciati può essere di qualsiasi dimensione, a seconda delle necessità (ossia della corrente di funzionamento). Inoltre, allo scopo di favorire il raffreddamento, il calore prodotto all'interno degli elementi dal passaggio della corrente viene normalmente dissipato in gran parte da alette di raffreddamento opportunamente distribuite tra gli elementi stessi.

La resistenza di un rettificatore al selenio nel senso di conduzione è inferiore a quella di un rettificatore ad ossido di rame. Per questo motivo il primo tipo denota un rendimento superiore nei confronti del secondo; esso infatti, a parità di dimensioni, consente la rettificazione di una corrente di maggiore intensità.

I rettificatori metallici vengono normalmente impiegati per il funzionamento di motori e di relais, per i circuiti di polarizzazione, per la ricarica di batterie di accumulatori, e, secondo i più recenti sviluppi della tecnica, tendono sempre più a sostituire le valvole raddrizzatrici (diodi a vuoto o termoionici) per l'alimentazione degli apparecchi radio, degli amplificatori e dei televisori, grazie soprattutto al fatto che essi consentono una notevole semplificazione dei circuiti, unitamente ad una economia di costo, di spazio e di peso.

DUPLICATORI di TENSIONE

I duplicatori di tensione sono dispositivi di alimentazione che possono fornire una tensione quasi doppia di quella alternata loro applicata. Questo fatto è possibile grazie all'impiego di due condensatori, ognuno dei quali si carica durante un semiperiodo della tensione di ingresso: essi sono collegati nel circuito in modo tale che le tensioni presenti ai loro capi si sommino, risultando in serie.

La **figura 8** illustra lo schema di un rettificatore di questo tipo. Quando il punto *A* del secondario del trasformatore è positivo rispetto al punto *B*, la placca di V_1 è positiva rispetto al catodo. Gli elettroni scorrono nel senso indicato dalle frecce a tratto continuo, ossia dal catodo alla placca di V_1, attraverso il trasformatore e quindi, verso l'alto, attraverso la resistenza di carico R_1. L'elettrodo superiore del condensatore C_1 è perciò positivo rispetto all'altro suo elettrodo, con una differenza di potenziale pari alla tensione di cresta dell'onda di corrente alternata entrante.

Nel semiperiodo successivo, invece, V_1 non conduce. C_1 ha la possibilità di scaricarsi gradualmente attraverso R_1. Contemporaneamente, mentre C_1 si scarica, C_2 si carica grazie alla corrente che scorre attraverso V_2. La corrente elettronica durante questo ciclo è indicata dalle frecce tratteggiate. In questo secondo semiperiodo, C_2 si carica con una tensione pari a quella di C_1. La tensione d'uscita viene prelevata tra massa ed il punto *O*. Essa quindi corrisponde alla somma delle tensioni presenti ai capi dei due condensatori, ossia a circa il doppio della tensione alternata presente tra *A* e *B*.

Le resistenze R_1 ed R_2 hanno valori sufficientemente alti da permettere la persistenza della carica fornita dai rispettivi condensatori in assenza della tensione proveniente dal trasformatore. È questa, dell'inserimento di tali resistenze, una misura precauzionale per evitare danni ai condensatori stessi, dovuti all'alta tensione, non appena il dispositivo viene disinserito. Come è già stato spiegato a suo tempo (pagina 245), la resistenza di dispersione di due condensatori di eguale valore può essere diversa. Le due resistenze inserite eguagliano pertanto le cadute di tensione, di modo che la tensione di lavoro dei condensatori viene equamente divisa.

Le correnti fornite al carico, derivano da C_1 e da C_2, che sono in serie. È necessario perciò usare carichi con basso assorbimento. Se col carico si assorbe troppa corrente, la carica dei condensatori non può sussistere per il tempo necessario, e il risultato è una instabilità della tensione.

Se i condensatori C_1 e C_2 sono di alto valore, le valvole possono essere protette da una corrente di picco eccessiva, inserendo resistenze limitatrici nel conduttore del catodo di V_1 e nel conduttore di placca di V_2.

CIRCUITI di FILTRAGGIO

La tensione presente all'uscita di qualsiasi circuito rettificatore è una corrente continua pulsante. Essa è costituita cioè da impulsi di tensione aventi sempre la me-

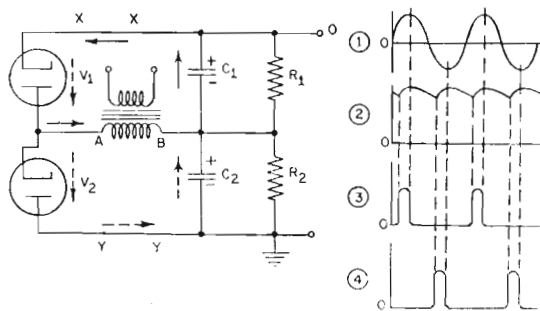



Fig. 8 — Circuito duplicatore di tensione: tensione entrante (1); tensione d'uscita (2); corrente in V_1 (3); corrente in V (4).

Fig. 9 — Variazioni di ampiezza (A e B) rispetto alla tensione, presenti nella tensione pulsante.

Fig. 10 — Filtro ad ingresso capacitivo. « C » immagazzina energia che restituisce tra gli impulsi.

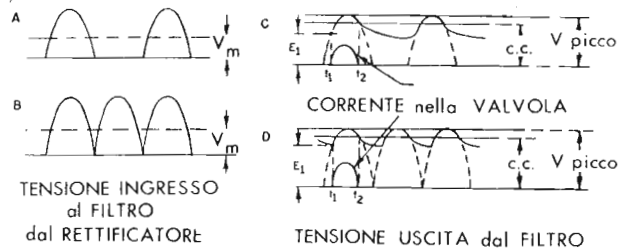
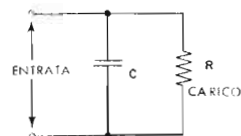



Fig. 11 — Tensione di picco e media prima del filtro capacitivo; (A = 1 semionda, C = 2 semionde) e dopo (B e D).

desima polarità. La tensione d'uscita oscilla intorno ad un valore medio, quando gli impulsi di energia vengono applicati al carico. Prima però che la tensione rettificata possa essere applicata al circuito di utilizzazione, deve essere livellata fino a raggiungere caratteristiche identiche a quelle della corrente continua. A questo scopo, vengono impiegati i circuiti di filtraggio che sono una combinazione di condensatori, induttanze e resistenze. Nella **figura 9**, le zone scure (A e B) rappresentano le variazioni di ampiezza della tensione d'uscita di un rettificatore a due semionde. L'ondulazione è la parte che si trova al di sopra ed al di sotto del valore medio della tensione. La frequenza delle ondulazioni derivanti da una rettificazione delle due semionde, è doppia di quella di ingresso, mentre quella di un rettificatore ad una sola semionda è eguale alla frequenza d'entrata. Così, con la nota tensione di alimentazione rete a 50 Hz, la frequenza di uscita sarà di 50 o di 100 Hz, a seconda del tipo di circuito usato.

Filtri a capacità

Le ondulazioni esistono in quanto la [illegible]te viene fornita al carico sotto forma di impulsi. Esse possono essere attenuate se una parte dell'energia viene immagazzinata in un condensatore, e riutilizzata durante gli istanti in cui gli impulsi di tensione vengono a mancare, ossia, tra un impulso e l'altro. La **figura 10** illustra lo schema di un filtro capacitivo. La tensione d'uscita di un rettificatore è applicata contemporaneamente al condensatore *C* ed al carico *R*. Il condensatore *C* si carica alla tensione di picco del raddrizzatore, pochi cicli dopo l'inizio del funzionamento. Questa carica rappresenta, come si è detto, energia immagazzinata. Quando la tensione d'uscita del rettificatore diminuisce, la tensione presente ai capi del condensatore non può seguirne l'andamento immediatamente, per il motivo che il rettificatore non permette il passaggio di una corrente in senso inverso. Di conseguenza, l'energia immagazzinata nella capacità, tende a scaricarsi attraverso il carico in un tempo proporzionale alla capacità di *C* ed al valore di *R*. In altre parole, la tensione ai capi del condensatore diminuisce lentamente se è impiegato un alto valore di capacità e se la corrente circolante nel carico è piccola.

La tensione presente ai capi del condensatore *C* non scende a zero in quanto esso, come abbiamo testè visto, assorbe energia dal rettificatore durante la fase attiva, e la restituisce al carico durante quella passiva. Tuttavia, se la corrente di assorbimento è notevole, vale a dire se la resistenza di carico è bassa, la tensione media diminuisce: per questo motivo il filtro a semplice capacità non viene impiegato allorchè si deve fornire una corrente elevata. La **figura 11** illustra in **A** e **C** l'andamento della tensione di picco e della tensione media disponibile all'uscita di un rettificatore, rispettivamente ad una e due semionde. La rispettiva tensione media dell'uscita filtrata con condensatore, è visibile in **B** e **D** della stessa figura.

Filtri a resistenza e capacità

Per diverse applicazioni, viene a volte usato un circuito di filtraggio composto da resistenza e capacità, come quello illustrato nella **figura 12**.

In tale circuito, C_1 ha un'impedenza bassa (circa 500 ohm) nei confronti delle ondulazioni: la resistenza offre invece una impedenza di circa 50.000 ohm. Pertanto, grazie all'azione divisoria di tensione, ai capi del condensatore è presente soltanto l'1% della componente alternata. La tensione continua, tuttavia, incontra in *C* un'impedenza infinita, ed in *R* un'impedenza di soli 50.000 ohm: ne consegue che la corrente continua crea una corrente attraverso *R*. Il valore di questa corrente non potrà essere molto alto, altrimenti sarebbe bassa la tensione d'uscita. Per questo motivo, i circuiti di filtraggio *RC* (a resistenza e capacità) vengono usati per alimentare circuiti che richiedono deboli correnti.

Filtri a induttanza

Una induttanza collegata in serie all'uscita di un rettificatore contribuisce ad evitare rapide variazioni di corrente. L'azione di livellamento che ne deriva, è dovuta all'induttore, la cui reattanza si oppone, come sappiamo, alle variazonį di intensità.

Le forme d'onda tratteggiate della **figura 13**, illustrano l'andamento della corrente nel carico, quando questo viene alimentato rispettivamente da un rettificatore ad una o a due semionde, con in serie una resistenza pura e senza filtraggio. Quando invece viene aggiunta un'induttanza in serie al carico, l'andamento della corrente è quello indicato dalle curve a tratto continuo. La variazione nella forma d'onda si verifica perchè l'induttanza si op-

Fig. 12 — Filtro a resistenza e capacità. L'ondulazione trova minore impedenza in C che non in R, per cui se ne inoltra in quest'ultima solo l'1 %. La corrente continua passa invece per R ma, per valori elevati, si verifica una forte caduta.

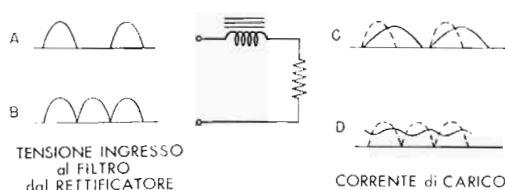
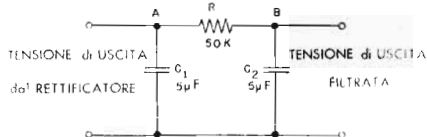
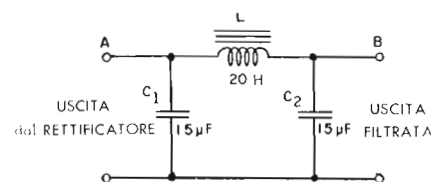



Fig. 13 — In A forma d'onda nel carico (raddrizzamento di 1 semionda) senza filtraggio; in B lo stesso per raddrizzamento di 2 semionde. C e D illustrano l'effetto dell'aggiunta di una induttanza in serie (curva a tratto intero) rispetto ai due casi contemplati (curve tratteggiate).

Fig. 14 — Riunendo il filtro capacitivo e quello induttivo si perviene al miglior risultato di filtraggio. La disposizione qui illustrata viene detta « ad ingresso capacitivo » perchè ha per primo elemento un condensatore.

pone alle rapide variazioni di corrente sia in più che in meno. Se il suo valore è sufficientemente alto, la corrente diventa pressochè costante.

L'induttanza impedisce che la corrente di carico raggiunga il valore che raggiungerebbe in sua assenza. Perciò la tensione d'uscita non può raggiungere mai il valore di picco della tensione d'entrata, ed un rettificatore munito di filtro induttivo, non può produrre una tensione alta come quella prodotta con filtro capacitivo. Ciò nonostante, il filtro induttivo permette una notevole corrente nel carico, senza considerevoli perdite nel valore della tensione d'uscita.

Filtri a induttanza e capacità

La tensione pulsante presente all'uscita di un rettificatore, non può essere livellata sufficientemente per l'alimentazione della maggior parte dei circuiti, mediante semplici filtri capacitivi o induttivi. È possibile ottenere risultati notevolmente migliori utilizzandoli entrambi, come è illustrato alla **figura 14** che riporta appunto un filtro induttanza-capacità. Questo particolare tipo di filtraggio viene denominato « ad ingresso capacitivo » in quanto la tensione di ingresso del filtro viene applicata innanzi tutto ad un condensatore.

La tensione d'uscita di un rettificatore può essere considerata come una corrente continua con una componente alternata. Il compito del filtro, è noto, consiste nell'eliminare detta componente alternata. Per comprendere il funzionamento di questo circuito in tale funzione, esaminiamo anzitutto l'impedenza dei vari componenti.

C_1 ha un'impedenza infinita per la corrente continua, mentre ha una bassa impedenza nei confronti della componente alternata; la maggior parte di quest'ultima, per questo fatto, viene deviata verso massa da C_1. L'induttanza L, offre notevole impedenza alla componente alternata residua; il piccolo ammontare di corrente alternata, ancora eventualmente presente all'uscita dell'induttanza, viene avviato a massa da C_2. Il risultato è che la tensione d'uscita è praticamente simile alla corrente continua ed ha un bassissimo tasso di ondulazione.

Il filtro ad ingresso induttivo, illustrato alla **figura 15**, differisce da quello precedente in quanto la tensione d'entrata viene applicata innanzitutto ad una induttanza. Questa impedisce a C_1 di caricarsi fino al valore di picco della tensione; l'uscita di questo circuito di filtraggio perciò è inferiore a quella del circuito a ingresso capacitivo. Ciò nonostante il potenziale d'uscita ottenuto con questo è molto meno influenzabile dalle variazioni di carico, per cui ha una maggiore stabilità.

Le dimensioni dei componenti di una cellula filtrante sono in stretta relazione con la frequenza della tensione rettificata, in quanto la reattanza capacitiva diminuisce con l'aumentare della frequenza, mentre la reattanza induttiva umenta: per questo motivo, se la tensione alternata di rete avesse una frequenza superiore a 50 Hz, sia l'induttanza che i condensatori dei circuiti di filtraggio potrebbero essere di valori inferiori.

PARTITORI di TENSIONE

Quasi sempre, ai capi dell'uscita di un alimentatore si trova una resistenza che ha il compito di scaricare i condensatori di filtro non appena l'apparecchio viene « spento ». Si tratta spesso di una misura precauzionale. Il valore di questa resistenza, generalmente, è elevato onde evitare un notevole assorbimento di corrente.

Se la resistenza in questione costituisce un carico fisso per la cellula filtrante, al fine di migliorare la stabilità, essa prende il nome di « resistenza di carico ». Per un tale compito, l'assorbimento medio di corrente deve ammontare all'incirca al 10% della corrente di pieno carico. Logicamente, la resistenza deve avere una dissipazione di potenza sufficiente a non produrre un eccessivo calore. Tanto la resistenza di chiusura del circuito, quanto la resistenza di carico possono avere prese intermedie per fornire varie tensioni, inferiori ovviamente a quella massima disponibile. Una resistenza munita di tali prese, viene detta « partitore di tensione ». Alla **figura 16**, si osservano tre resistenze del medesimo valore, collegate in serie, usate come partitore di tensione. Se da nessuna delle prese intermedie viene prelevata corrente, la tensione si distribuisce in parti eguali ed è quella indicata alla sezione **A**, nella quale ogni resistenza ha ai suoi capi una d.d.p. di 100 volt. Se si preleva corrente lungo il parti-

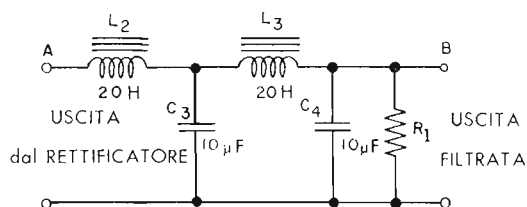



Fig. 15 — Filtro a induttanza e capacità; detto ad « ingresso induttivo ». La tensione di uscita è inferiore a quella del filtro di figura 14: per contro, le variazioni dovute al carico sono meno rilevanti.

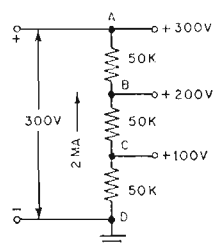



Fig. 16 A — Le resistenze in serie di un partitore — in assenza di assorbimento — se di pari valore, suddividono la tensione in parti eguali.

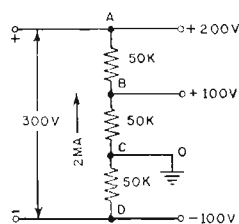



Fig. 16 B — Se viene posto a massa il punto C, il punto di D risulta negativo rispetto ad esso, ed A e B risultano positivi.

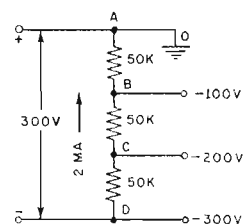



Fig. 16 C — Infine, ponendo a massa A, (polo positivo dell'uscita), tutte le tensioni del partitore risultano negative.

tore, le tensioni alle prese variano. Per avere una buona stabilità delle correnti prelevate dalle prese intermedie, esse devono essere pari ad una frazione relativamente piccola della corrente totale che percorre il partitore.

Nella maggior parte dei circuiti è consuetudine collegare a terra un lato nell'alimentazione. La terra è talmente grande che il suo potenziale può essere considerato pressochè costante; tale potenziale viene perciò usato come potenziale di riferimento per la misura delle tensioni. Se nessun punto dell'alimentatore è collegato a massa, è possibile effettuare tale collegamento in un punto qualsiasi senza che ciò alteri il funzionamento. Si noti che, nella figura 16, alla sezione A è a massa o a terra, il punto *D*: tutti i potenziali disponibili lungo il partitore sono positivi rispetto a tale punto. Nella sezione **B** invece è a massa il punto *C*, per cui le prese al di sopra di tale punto sono positive, mentre il punto *D* ha un potenziale negativo di 100 volt. Nella sezione **C**, infine è a massa il punto *A*, e, di conseguenza, tutte le prese disponibili lungo il partitore sono negative.

COSTRUZIONE di IMPEDENZE di FILTRO

Quanto sin quì esposto nei riguardi del filtraggio, ha messo in evidenza la grande utilità che in detta azione hanno le induttanze con nucleo magnetico, correntemente dette impedenze. Il loro impiego è frequente e possibile in tutta l'estensione delle frequenze basse (sino a 15.000-20.000 hertz) e oltre, adeguando il tipo di materiale costituente il nucleo. Nel testo che segue, ci occuperemo dei tipi che vengono richiesti negli alimentatori e che perciò, dal punto di vista frequenza, si basano sul valore della frequenza di rete.

La tecnica costruttiva che si riferisce alle impedenze, è praticamente la stessa che si riferisce ai trasformatori: così, anche per questo organo, abbiamo preferito suddividere — come abbiamo fatto per i trasformatori — ciò che è destinato all'alimentazione da ciò che deve essere applicato nel campo delle frequenze audio.

Le caratteristiche del circuito nel quale l'impedenza deve essere impiegata, indicano il valore che essa deve possedere, nonchè la corrente che la percorre, la resistenza ohmica massima che può esserle consentita, ecc. Noti i valori ai quali si deve pervenire, si possono così riassumere i fattori da prendere in considerazione per il progetto costruttivo:

1) Valore induttivo richiesto (in henry).

2) Intensità di corrente che attraversa l'avvolgimento.

3) Dimensioni dei lamierini.

4) Sezione del nucleo.

5) Sezione del filo di rame.

6) Numero delle spire di avvolgimento.

Un ESEMPIO di CALCOLO

Supponiamo sia necessario costruire una induttanza avente le seguenti caratteristiche:

induttanza = 35 henry;

corrente continua circolante = 0,06 ampère.

Il lettore ricorderà come siano state poste in evidenza le difficoltà per individuare a priori il tipo di lamierino più idoneo, per le sue dimensioni, alla realizzazione di un trasformatore. Tali difficoltà permangono nel campo realizzativo delle impedenze: è per questo che, per facilitare il compito, abbiamo redatto una tabella (vedi pagina 354 - Tabella 56) che può orientare convenientemente, anche se il tipo da costruire non coincide esattamente nelle caratteristiche con i prototipi elencati. Con l'aiuto di tale tabella, oltre che i dati immediati di identificazione del tipo di lamierino, si ha lo spessore del pacco lamellare. Quest'ultimo valore, che è quello effettivo di costruzione (sezione lorda), a lamierini ben pressati, tiene già conto, comunque, della differenza tra sezione netta e sezione lorda.

Si noti che i nuclei ferromagnetici per impedenze vengono **sempre** realizzati con lamierini del tipo I, ossia costituiti da una parte ad « E » e da una ad « I », per motivi che vedremo tra breve.

La lezione non sarebbe completa se non fosse detto come conoscere, in ogni caso, il valore della sezione del ferro necessario, al di fuori dell'uso della tabellina 56. Questo dato è facilmente ricavabile: basta moltiplicare il valore dell'induttanza per la corrente circolante (nel nostro caso: $35 \times 0{,}06 = 2{,}1$) ed individuare il valore del pro-

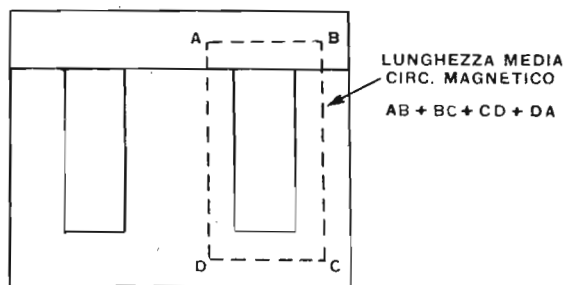



Fig. 17 — La lunghezza media del circuito magnetico è rappresentata dalla linea tratteggiata. Può essere calcolata sommando all'altezza della finestra il lato minore del pezzo ad « I » e la larghezza del gambo centrale, indi moltiplicando la somma per due.

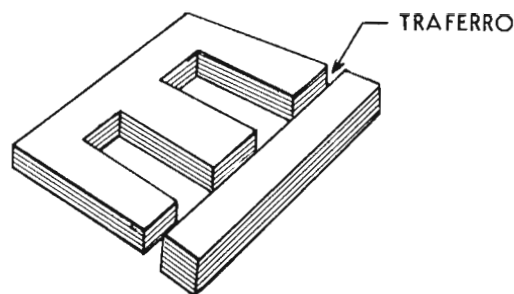



Fig. 18 — Nelle impedenze, il pacco lamellare deve essere formato, a differenza che nei trasformatori, senza alternare i lamierini ad « E » con quelli ad « I ». I due pezzi formeranno due pacchi distinti che saranno distanziati dal « traferro ».

dotto (nel nostro caso 2,1) sull'asse orizzontale del grafico della tabella 57 (pagina 355). Scorrendo la verticale coincidente col numero, sino ad incontrare la linea obliqua, osserveremo, a sinistra, orizzontalmente, l'indicazione cercata, cioè la sezione netta del nucleo in cm² (nel nostro caso = 10,4). Considerando tale valore come sezione netta, lo maggioreremo del 10% ed otterremo la sezione lorda, vale a dire quella da costituire praticamente con i lamierini. Questi ultimi dovranno essere di spessore 0,35 mm.

Sempre per il nostro esempio, risulterà: $10{,}4+1{,}04=11{,}44$ cm², il che corrisponde al valore che anche la tabellina 56 ci indica. (Infatti, moltiplicando la larghezza del gambo centrale del lamierino suggerito (63×76) che è di 25 mm, per i 45 mm di spessore riportati, si ottengono 11,25 cm², con approssimazione consentita).

Per la larghezza del gambo dei lamierini indicati, è necessario consultare la tabella 53, pubblicata a pagina 308 - lezione 39ª.

Ora ci occorrono diversi altri dati. È importante stàbilire la lunghezza del circuito magnetico, che chiameremo *lcm*. La **figura 17** mostra chiaramente come si ottiene questo dato: nel nostro esempio esso risulta di 15,4 cm. Moltiplicando quest'ultimo valore per la sezione netta, otteremo il volume del ferro ($15{,}4\times10{,}4=160$ cm³, arrotondato).

Abbiamo ora gli elementi che ci permettono di ricavare gli ampère-spire ($LI^2:V$) come segue $(35\times0{,}06^2):160 = 0{,}00078$. Nota questa cifra, si può impiegare il grafico della tabella 58 (pagina 356). Sulla colonna a sinistra si localizza 0,00078 e, scorrendo orizzontalmente sino ad incontrare la linea obliqua, si scorre poi verticalmente verso il basso: si leggerà, in basso, 13,5 tra i valori degli ampère-spire per centimetro.

Gli ampère-spire totali, si avranno moltiplicando il 13,5 ora ottenuto per la lunghezza del circuito magnetico ($13{,}5\times15{,}4=207{,}9$).

Perverremo finalmente al numero di spire necessarie, dividendo gli ampère-spire totali per la corrente circolante ($207{,}9:0{,}06=3.465$ spire).

Nella realizzazione del circuito magnetico delle impedenze, circolando in esse corrente continua, onde evitare una facile saturazione, il circuito stesso deve essere brevemente interrotto. Per questo fatto, i lamierini non devono essere infilati alternativamente come abbiamo visto essere necessario per i trasformatori. Si formerà il pacco così come dalla **figura 18**, ed in tal modo si potrà interrompere il circuito del ferro distanziando leggermente l'assieme dei pezzi ad « I » da quelli ad « E ». Come è noto, questo spazio d'aria viene detto **traferro**. Occorre calcolarne lo spessore.

Ricorriamo ancora al grafico di tabella 58. Il punto di incrocio con la linea abliqua che avevamo trovato (nella ricerca degli ampère-spira) ci permette di ricavare, tra i valori indicati sulla linea stessa, il valore di 0,00175. Questo dato, moltiplicato per la lunghezza del circuito magnetico, ci indica lo spessore del traferro. Così, $0{,}00175\times15{,}4=0{,}027$ cm, arrotondato. Si potrà interporre un foglietto di carta di tale spessore.

È facile stabilire, servendosi della tabella 54 (pagina 309) quale sezione deve avere il filo di avvolgimento.

Se l'impedenza deve funzionare molte ore in continuità ci si baserà su di una intensità di 2,0 ampère per mm²; per impieghi di più breve durata si possono adottare 2,5 ampère per mm². Il criterio è eguale a quello esposto per i trasformatori. Nel primo caso, sulla colonna 2,0 A cercheremo il valore di corrente più vicino ai nostri 0,06 ampère, e troveremo 0,063 che corrispondono — sulla prima colonna, a sinistra — ad un filo di 0,20 mm. Nel secondo caso si troverà 0,066 corrispondente ad un filo di 0,18 mm.

Tutti i dati costruttivi sono oramai in nostro possesso. La nostra impedenza avrà perciò 3465 spire di filo da 0,20 (o 0,18) mm, ed un traferro di 0,027 cm.

La tabella 54 ci permette anche di eseguire un rapido controllo preventivo per accertare se l'avvolgimento sarà contenuto nella finestra del lamierino. In essa è indicato che in 1 cm² sono contenute 1400 spire di filo da 0,20 mm. Le nostre 3465 spire richiederanno perciò ($3465:1400=2{,}4$) cioè 2,4 cm². I dati del lamierino riferiscono che la finestra del tipo prescelto è di cm $3{,}8\times1{,}3=4{,}94$ cm² che risultano più che sufficienti a contenere i nostri 2,4 cm² di filo, e tutti gli spessori dell'isolamento tra gli strati, della carcassa ecc.

SIMBOLI - ABBREVIAZIONI

A/s = Ampèrspire
E_a = Tensione anodica
E_p = Tensione di placca
I_a = Corrente anodica
I_p = Corrente di placca
lcm = Lunghezza circuito magnetico
K = Catodo
P = Placca
R_a = Resistenza anodica
R_p = Resistenza di placca
S = Saturazione
V = Volume
V_p = Volt (tensione) di placca

FORMULE

$R_p = E_p : I_p$

In un'impedenza di filtro:

$A/s = LI^2 : V$

Numero spire = Fattore A/s : I

SEGNI SCHEMATICI

= Filamento di una valvola

= Catodo di una valvola

= Catodo ad accensione indiretta

= Placca di una valvola

= Diodo semplice ad accensione diretta

= Diodo semplice ad accensione indiretta

= Doppio diodo ad accensione diretta

= Doppio diodo ad accensione indiretta

DOMANDE sulle LEZIONI 43ª e 44ª

N. 1 —
Cosa si intende per « emissione termoionica »?

N. 2 —
Quale è il fenomeno fisico che determina tale emissione?

N. 3 —
Quale è il compito del filamento in una valvola a riscaldamento diretto? Quale è invece il suo compito in una valvola a riscaldamento indiretto?

N. 4 —
Per quale motivo tra il filamento ed il catodo non è possibile applicare elevate differenze di potenziale?

N. 5 —
Cosa si intende per « carica spaziale »?

N. 6 —
Quanto tipi di « diodi » esistono tra le valvole termoioniche?

N. 7 —
Per quale motivo un diodo può essere impiegato per la rettificazione di una corrente alternata?

N. 8 —
Quale è la differenza sostanziale tra una corrente alternata rettificata in una sola semionda, ed una rettificata invece nelle due semionde?

N. 9—
Cosa succede se il filamento di una valvola viene acceso con una tensione inferiore a quella necessaria per il normale funzionamento? Cosa accade invece se la tensione è superiore?

N. 10 —
Per quale motivo, in un alimentatore con rettificazione a ponte, si preferisce usare elementi rettificatori metallici?

N. 11 —
Nel caso di rettificazione delle due semionde in opposizione di fase, quale rapporto sussiste tra la tensione alternata e quella rettificata?

N. 12 —
Per quale motivo la rettificazione delle due semionde è preferibile a quella di una sola?

N. 13 —
Come è possibile rendere « continua » una tensione o una corrente rettificata?

N. 14 —
Come si comporta un condensatore di filtro nei confronti della tensione di uscita di un alimentatore?

N. 15 —
Per quale motivo si usa spesso collegare in parallelo ai condensatori di filtro delle resistenze di valore elevato?

N. 16 —
Quale è il compito di un'impedenza di filtro?

N. 17 —
Cosa accade in un alimentatore funzionante, se manca il carico?

N. 18 —
Come è possibile ricavare da un alimentatore diversi valori di tensione continua?

RISPOSTE alle DOMANDE di Pag. 329

N. 1 — Tutte le frequenze comprese tra la minima e la massima, che possono essere ricevute con un apparecchio avente una bobina di data induttanza, ed un condensatore variabile di dato valore.

N. 2 — Che l'antenna sia — per quanto possibile — sintonizzata sulla frequenza che si desidera ricevere. In pratica però, date le notevoli difficoltà dovute alla varietà delle frequenze, si preferisce aumentare il numero degli stadi di amplificazione ad Alta Frequenza.

N. 3 — La lunghezza necessaria per ottenere la sintonia. Essa può essere effettiva (in metri), oppure « elettrica », ossia ottenuta artificialmente mediante l'aggiunta in serie di induttanze e/o di capacità, i quali hanno la medesima influenza di una variazione della lunghezza effettiva.

N. 4 — Il trasformatore di sintonia, il cui rapporto è generalmente « in salita ».

N. 5 — Quando è munito di vari circuiti oscillanti comandati da un unico variabile a diverse sezioni (una per stadio).

N. 6 — L'aumento della sensibilità, specie nei confronti di segnali deboli.

N. 7 — Un circuito sintonizzato che elimina segnali indesiderati. Consta di una induttanza e di una capacità. Può essere applicato in serie oppure in parallelo.

N. 8 — Una induttanza con spire molto larghe; essa costituisce la prima bobina di sintonia, ed ha un notevole effetto direttivo nei confronti del segnale ricevuto.

N. 9 — Completamente aperto, ossia col rotore completamente al di fuori dello statore, in modo che la capacità sia minima.

N. 10 — Tre: con variazione lineare di capacità, con variazione lineare di lunghezza d'onda, e con variazione lineare di frequenza.

N. 11 — A mettere « in passo » la variazione di capacità con la variazione di frequenza. Essi consentono infatti la messa a punto in vari punti della rotazione.

N. 12 — Il passaggio da una gamma di frequenza ad un'altra. Viene effettuata sostituendo la o le induttanze accordate, o direttamente, o mediante l'impiego di un commutatore. Può anche essere effettuata collegando in serie o in parallelo al variabile una capacità predeterminata.

N. 13 — Il complesso delle induttanze delle varie gamme, ed il relativo commutatore.

N. 14 — La presenza di una corrente di « cavità », costituita dallo spostamento dei « vuoti » lasciati dagli elettroni in movimento a causa della corrente elettrica in senso opposto.

N. 15 — Tre: l'emettitore, la base ed il collettore.

N. 16 — Quando il secondo amplifica ulteriormente i segnali già amplificati dallo stadio precedente.

N. 17 — Adattare l'impedenza dell'altoparlante a quella del transistore, onde ottenere il massimo rendimento acustico.

N. 18 — Sulla frequenza del segnale che si desidera eliminare.

La tabella 56 può dimostrare la sua utilità in occasione del calcolo di un'impedenza di filtro avente caratteristiche comuni, come quelle elencate. Esse infatti contraddistinguono le impedenze che più spesso vengono impiegate nei circuiti di alimentazione di apparecchi commerciali.

Tuttavia, qualora si debba effettuare il calcolo di una impedenza avente valori diversi, la tabella potrà del pari servire come orientamento, in quanto le portate considerate si estendono da 4,5 a 35 henry, e da 20 a 250 mA.

La tabella 57 è un grafico di facile impiego, utilissimo per calcolare la sezione netta del nucleo di un'impedenza di filtro, noti che siano i valori di induttanza e di corrente.

Il prodotto tra questi due valori viene infatti individuato sulla scala inferiore (*induttanza × corrente*), fino ad incontrare la retta obliqua. Dal punto di intersezione si traccia — nel modo consueto — una retta orizzontale verso il lato destro. In tal modo si individua sulla scala relativa il valore della sezione netta espresso in centimetri quadrati. Agli effetti della sezione lorda — come si è fatto a suo tempo con i trasformatori — detta sezione netta dovrà essere aumentata del 10% per lamierini aventi lo spessore di 0,35 mm, e del 15% per lamierini da 0,50 mm. In ogni caso però, per la costruzione di impedenze di filtro, è raccomandabile il tipo da 0,35 mm.

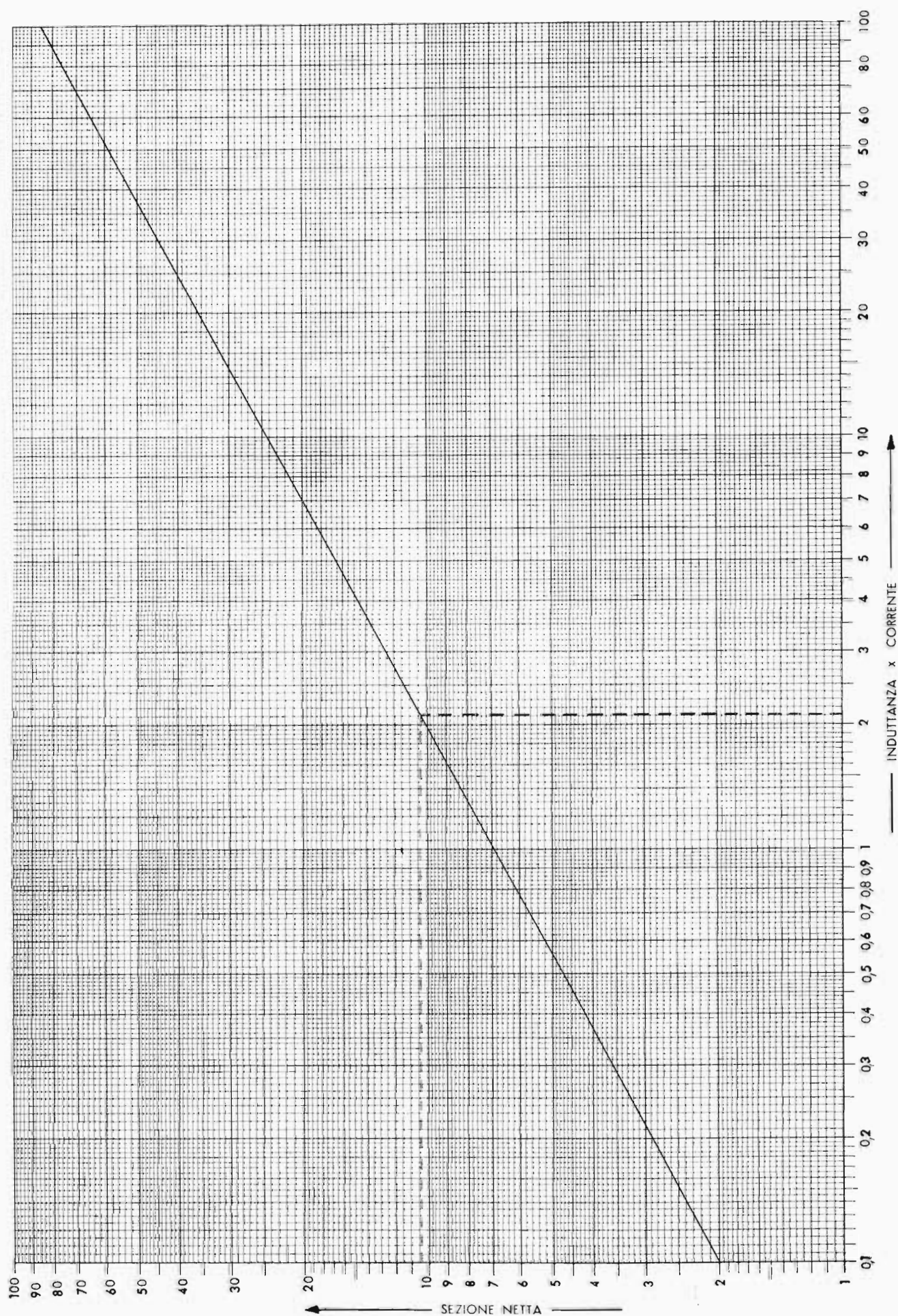
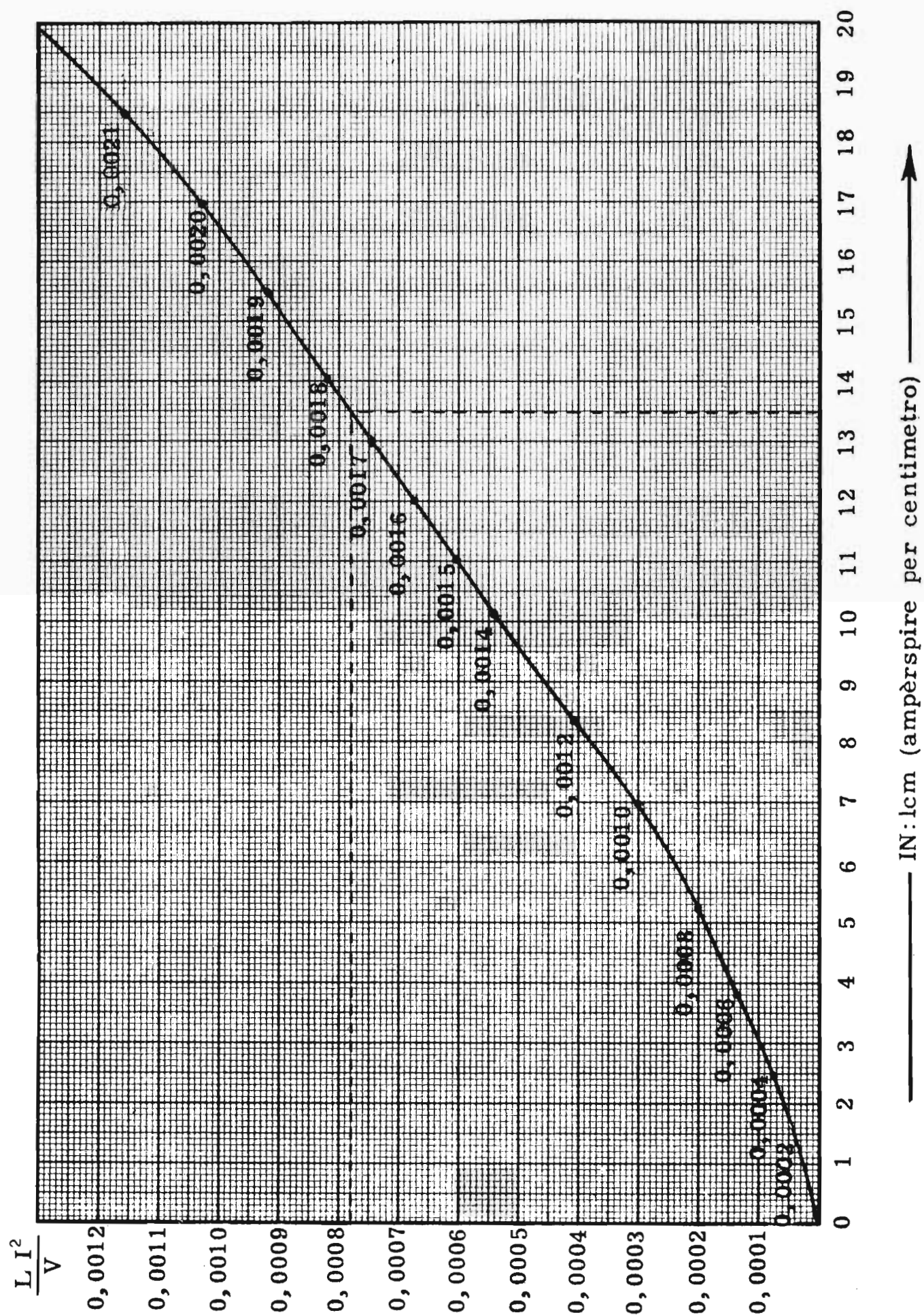
L'esempio riportato si riferisce al calcolo preso in considerazione nella lezione precedente (44ª).

La tabella 58 è anch'essa un grafico per il calcolo razionale di un'impedenza di filtro ed integra la tabella 57. Essa consente infatti, di calcolare il valore di ampèrspire conoscendo l'induttanza, la corrente ed il volume del nucleo, nonchè lo spessore del traferro che viene applicato per interrompere il circuito magnetico al fine di evitare la saturazione del nucleo stesso.

Il volume del nucleo viene ricavato moltiplicando la sezione per la lunghezza del circuito magnetico, nel modo illustrato nella figura 17 della lezione 44ª. La lunghezza del circuito magnetico rappresenta, praticamente, il perimetro di un rettangolo, i cui angoli coincidono col punto di intersezione degli assi centrali dei vari rami del lamierino. Ovviamente, occorre considerare che il gambo centrale ha una larghezza doppia degli altri, per cui l'asse centrale di riferimento viene tracciato nella metà della sua larghezza totale. Anche in questo caso l'esempio è riferito al calcolo della lezione citata. Il valore letto sulla curva riportata nel grafico (naturalmente interpolando), dà lo spessore del traferro se moltiplicato per la lunghezza media del circuito magnetico.

TABELLA 56 — DIMENSIONI del FERRO per IMPEDENZE TIPICHE

DATI CARATTERISTICI dell'IMPEDENZA	DIMENSIONI LAMIERINO in mm A × B	SPESSORE del PACCO LAMELLARE
4,5 henry — 80 mA cc	47 × 57	23 mm
5,0 henry — 110 mA cc	55 × 66	25 mm
5,0 henry — 200 mA cc	70 × 100	28 mm
7,0 henry — 250 mA cc	79 × 94	31 mm
10,0 henry — 110 mA cc	63 × 76	32 mm
18,0 henry — 100 mA cc	63 × 76	42 mm
20,0 henry — 200 mA cc	120 × 100	41 mm
30,0 henry — 20 mA cc	47 × 57	30 mm
35,0 henry — 60 mA cc	63 × 76	45 mm

TABELLA 57 — GRAFICO per il CALCOLO della SEZIONE NETTA in FUNZIONE dell'INDUTTANZA e della CORRENTE

$\frac{L\,I^2}{V}$
0,0012
0,0011
0,0010
0,0009
0,0008
0,0007
0,0006
0,0005
0,0004
0,0003
0,0002
0,0001
0,0002
0,0004
0,0006
0,0008
0,0010
0,0012
0,0014
0,0015
0,0016
0,0017
0,0018
0,0019
0,0020
0,0021
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
IN: lcm (ampèrspire per centimetro)

Nelle espressioni di calcolo matematico, si incontrano spesso dei simboli al cui impiego il lettore può non essere abituato. A tale scopo riportiamo la tabella 59, che raggruppa i principali, elencando a lato il relativo significato.

Molti dei simboli riportati sono già stati usati nelle lezioni precedenti, ed altri ne incontreremo in seguito. Questa tabella potrà dunque chiarire qualche eventuale lacuna sulle cognizioni sin quì acquisite, e facilitare la comprensione in seguito.

La tabella 60 ha uno scopo analogo. Infatti, qualora si debba risolvere un'espressione di calcolo nella quale figura una costante matematica, sia in forma isolata che sotto forma frazionaria, radicale, o di potenza, il lettore potrà — con l'aiuto di detta tabella — trovare rapidamente il valore corrispondente e sostituirlo nel calcolo. Ad esempio, in una formula in cui figurasse il fattore *log* π, esso potrà essere immediatamente sostituito col valore numerico 0,4971, senza ricorrere alle tavole logaritmiche.

La tabella 61 elenca le lettere maiuscole e minuscole dell'alfabeto greco, nonchè i significati che ad esse vengono simbolicamente attribuiti nei calcoli e nelle formule.

Molte grandezze ivi elencate sono già perfettamente note al lettore, ed altre verranno adottate in seguito. In ogni caso, la tabella potrà dimostrarsi d'aiuto per richiamare alla memoria qualche simbolo dimenticato, o per chiarire il significato di quelli eventualmente ancora sconosciuti.

La tabella 62 — infine — si unisce alla serie precedentemente pubblicata, in quanto, oltre a chiarire il valore delle varie unità di pressione, consente anche di convertirle nelle unità inglesi ed americane, e viceversa.

Sui testi che trattano delle valvole termoioniche, ad esempio, viene a volte citato il valore del « vuoto » praticato all'interno del bulbo — generalmente — 10^{-6} mm di Hg, pari a circa 10^{-9} atm. La tabella consente il passaggio da un'unità all'altra. Essa si dimostrerà utile anche allorchè, nello studio dei microfoni, ci occuperemo della sensibilità espressa in « microbar per cm^2 ».

TABELLA 59 — SIMBOLI MATEMATICI di USO COMUNE

Simbolo	Significato
$=$	Uguaglianza tra due o più grandezze
$\neq$	Diseguaglianza tra due o più grandezze
$>$	Diseguaglianza tra due grandezze, di cui la prima è maggiore della seconda
$<$	Diseguaglianza tra due grandezze di cui la prima è minore della seconda
$\geq$	Eguale o maggiore di...
$\leq$	Eguale o minore di...
	Approssimativamente eguale a...
$\simeq$	Approssimativamente eguale a...
$\equiv$	Eguaglianza supposta tra due grandezze
$\sim$	Valore approssimativo (circa)
$\parallel$	Parallelismo
$\perp$	Perpendicolarità
$\div$	Valore compreso tra... e (da... a)
∞	Grandezza infinita
%	Per cento
‰	Per mille
Appross.	Valore approssimato
max.	Massimo
min.	Minimo
Δ	Variazione di una quantità (in più o in meno)

TABELLA 60 — COSTANTI MATEMATICHE di USO COMUNE

Simbolo matematico	Valore numerico	Simbolo matematico	Valore numerico	Simbolo matematico	Valore numerico	Simbolo matematico	Valore numerico	Simbolo matematico	Valore numerico
$\sqrt{2}$ =	1,4142	e^2 =	7,3891	$\frac{\pi}{4}$ =	0,7854	$\frac{1}{2\pi}$ =	0,1592	$\sqrt{2}\,\pi$ =	4,4427
$\frac{1}{\sqrt{2}}$ =	0,7071	$\frac{1}{e^2}$ =	0,1353	2π =	6,2832	$(\frac{1}{2\pi})^2$ =	0,0253	$\sqrt{2\pi}$ =	2,5066
$\sqrt{3}$ =	1,7321	$\log e$ =	0,4343	3π =	9,4247	$\frac{1}{\sqrt{\pi}}$ =	0,5642	$\frac{\sqrt{\pi}}{2}$ =	0,8862
$\frac{1}{\sqrt{3}}$ =	0,5773	g =	9,81	4π =	12,5664	$\frac{1}{\pi^2}$ =	0,1013	$\sqrt{\frac{\pi}{2}}$ =	1,2533
$\sqrt{10}$ =	3,1623	$\frac{1}{g}$ =	0,1019	$2\pi \times 50$ =	314,16	$\frac{1}{\pi^3}$ =	0,0323	$\frac{\pi}{\sqrt{2}}$ =	2,2214
$\frac{1}{\sqrt{10}}$ =	0,3162	$\sqrt{g}$ =	3,1321	π^2 =	9.8696	$\frac{2}{\pi}$ =	0,6366	$\log \pi$ =	0,4971
$\log_e 10$ =	2,3026	g^2 =	96,2361	$4\pi^2$ =	39,4784	$\sqrt{\pi}$ =	1.7725	$\log \frac{\pi}{2}$ =	0,1961
e =	2,7182	π =	3,14159	$(2\pi)^2$ =	39,4786			$\log \sqrt{\pi}$ =	0,2486
$\frac{1}{e}$ =	0,3679	$\frac{\pi}{2}$ =	1,5708	π^3 =	31.0063			$\log \pi^2$ =	0,9943
		$\frac{\pi}{3}$ =	1,0472	$\frac{\pi^3}{4}$ =	7,751				
				$\frac{1}{\pi}$ =	0,3183				

TABELLA 61 — SIGNIFICATO SIMBOLICO delle LETTERE dell'ALFABETO GRECO

NOME	MAIUSCOLA	MINUSCOLA	SIGNIFICATO
alfa	Α	α	Angoli, coefficienti, superficie, fattore di assorbimento, costante di attenuazione.
beta	Β	β	Coefficienti, costante di fase, angoli.
gamma	Γ	γ	Quantità specifiche, angoli, conduttività elettrica, costante complessa di propagazione (M), gravità.
delta	Δ	δ	Variazione di grandezza (aumento o diminuzione), densità, angoli, determinante (M), densità di corrente, permittività (M).
epsilon	Ε	ε	Base dei logaritmi naturali o neperiani (2,7182), costante dielettrica, permittività, intensità elettrica, coordinate, coefficienti.
zeta	Ζ	ζ	Coordinate, coefficienti.
eta	Η	η	Impedenza intrinseca, rendimento, densità di carica di superficie, isteresi, coordinate.
theta	Θ	ϑ	Angolo di sfasamento, costante di tempo, riluttanza, angoli, temperatura.
iota	Ι	ι	Vettori (grandezze vettoriali).
cappa	Κ	ϰ	Suscettibilità, coefficiente di accoppiamento (M), coefficienti, costanti.
lambda	Λ	λ	Lunghezza d'onda, permeanza (M), costante di attenuazione.
mu	Μ	μ	Prefisso « micro » (= 1/1.000.000), permeabilità, fattore di amplificazione.
nu	Ν	ν	Riluttanza specifica, frequenza.
xi	Ξ	ξ	Coordinate orizzontali.
omicron	Ο	ο	—
pi	Π	π	Rapporto tra circonferenza e diametro di un cerchio (3,14), angoli, costante.
ro	Ρ	ρ	Resistività, densità di carica di volume, coordinate.
sigma	Σ	σ	Densità di carica di superficie, costante di propagazione, coefficiente di dispersione della conduttività elettrica, segno di « sommatoria » (M).
tau	Τ	τ	Costante di tempo, resistività di volume, sfasamento, fattore di trasmissione, densità.
fi	Φ	φ	Flusso magnetico (intensità), angoli, potenziale scalare (M), fattore di potenza.
chi	Χ	χ	Suscettibilità elettrica, angoli.
psi		ψ	Flusso dielettrico, differenza di fase, coordinate, angoli.
omega	Ω	ω	Velocità angolare, resistènza impedenza e reattanza in ohm (M), angoli solidi (M).
ipsilon	Υ	υ	—
			La lettera (M) indica che in quel caso particolare la lettera è maiuscola.

TABELLA 62 — VALORE delle UNITA' di PRESSIONE e CORRISPONDENZA con le UNITA' INGLESI

UNITA'	atm	kg/cm²	mm di Acqua	mm di Hg a 0°	bar	millibar	microbar	lb/poll²	lb/piede²
Atmosfera	1	1,033	10.332	760	1,013	1.013	$1,013x10^{6}$	14,7	2.116
mm di Hg a 0° .	$1,3x10^{-3}$	$1,36x10^{-3}$	13,6	1	$1,33x10^{3}$	1,333	1.333	$1,93x10^{-2}$	2,735
bar	0,987	1,02	10.197	750,1	1	10^{3}	10^{6}	14,5	2.088
millibar	$9,87x10^{-4}$	$1,02x10^{-3}$	10,2	0,75	10^{-3}	1	10^{3}	$1,45x10^{-2}$	2,089
microbar	$9,87x10^{-7}$	$1,02x10^{-6}$	$1,1x10^{-2}$	$7,54x10^{-4}$	10^{-6}	10^{-3}	1	$1,45x10^{-5}$	$2,1x10^{-3}$
libbre/pollice² . .	$6,8x10^{-2}$	$7,03x10^{-2}$	713,3	51,7	$6.9x10^{-2}$	68,94	68.940	1	144
libbre/piede² . . .	$4,73x10^{-4}$	$4,8x10^{-4}$	4,883	0,336	$4.8x10^{-4}$	0,48	478,8	$7x10^{-3}$	1

HEATHKIT

Voltmeter KIT

V-7A

LARIR

corso di RADIOTECNICA

pubblicazione settimanale - 14 - 21 gennaio 1961 un fascicolo lire 150 16° numero

corso di
RADIOTECNICA

settimanale a carattere culturale

Direzione, Amministrazione, Pubblicità:
Via dei Pellegrini 8/4 - Telef. 593.478
MILANO

Ogni fascicolo — contenente 3 lezioni — costa lire 150, acquistato alle edicole.

Se l'edicola risulta sprovvista, o si teme di rimanere privi di qualche numero, si chieda invio settimanale direttamente al proprio domicilio a mezzo abbonamento.

Il versamento per ricevere i 52 fascicoli costituenti l'intero Corso è di lire 6500 + I.G.E. = lire 6630. A mezzo vaglia postale, assegno bancario, o versamento sul conto corr. postale 3/41.203 del « Corso di RADIOTECNICA » - Via dei Pellegrini 8-4 - Milano. In ogni caso, scrivere in modo molto chiaro e completo il proprio indirizzo.

L'abbonamento può essere effettuato in qualsiasi momento; si intende comprensivo delle lezioni pubblicate e dà diritto a ricevere tali lezioni, che saranno inviate con unica spedizione.

Estero: abbonamento al Corso, Lit. 8.500. ($ 15). Numeri singoli Lit. 300 ($ 0,50).

Per i cambi di indirizzo durante lo svolgimento del Corso, unire lire 100, citando sempre il vecchio indirizzo.

Fascicoli singoli arretrati — se disponibili — possono essere ordinati a lire 300 cadauno.

Non si spedisce contrassegno.

Distribuzione alle edicole di tutta Italia: Diffus. Milanese . Via Soperga, 57 - Milano.

Direttore responsabile: Giulio Borgogno.

Autorizzaz. N. 5357 - Tribunale di Milano.

Stampa: Intergrafica S.r.l. - Cologno Monzese.

La Direzione non rivende materiale radio; essa può comunicare, se richiesta, indirizzi di Fabbricanti, Importatori, Grossisti ecc. in grado di fornire il necessario ed ai quali il lettore può rivolgersi direttamente.

Alla corrispondenza con richiesta di informazioni ecc. si prega allegare sempre il **francobollo per la risposta.**

Parte del testo e delle illustrazioni è dovuta alla collaborazione del Bureau of Naval Personnel, nonchè al Dept. of the Army and the Air Force - U.S.A.

A chi può essere utile questo Corso? Anzitutto — stante la sua impostazione — il Corso, basato sull'esposizione in forma a tutti accessibile, della radiotecnica, dai suoi elementi basilari alla evoluzione più recente, rappresenta la forma ideale per tutti coloro che intendono dedicarsi all'elettronica, sia come forma ricreativa sia — soprattutto — per l'acquisizione di una professione specializzata che possa procurare loro una posizione di privilegio in seno alla società odierna.

Anno per anno, la nostra civiltà si indirizza sempre più verso questa meravigliosa, si potrebbe dire fascinosa, elettronica, che nel modo più evidente consente sviluppi impensati, progressi grandiosi e una rapida evoluzione di tutti gli altri rami dello scibile che essa tocca e influenza.

L'industria, tutta l'industria, nel senso più ampio, da quella elettrotecnica a quella meccanica, alla metallurgica, alla chimica ecc., con i suoi laboratori di ricerca e le sue fabbriche richiede, e richiederà sempre più, con un ritmo rapidamente crescente, tecnici specializzati con conoscenza dell'elettronica, tecnici specificatamente elettronici e persino operai e impiegati di ogni ordine e categoria con cognizioni di elettronica.

Si può dire che anche le branche commerciali, quelle dei trasporti e persino quelle amministrative con le recenti introduzioni delle calcolatrici, abbisognano di personale che conosca i principi dell'elettronica, le macchine relative, il loro pieno sfruttamento, la eventuale riparazione ecc. e, quanto più in modo completo, quanto meglio.

Nasce, da una tale situazione, una logica conseguenza: per la scelta di una professione o di un mestiere, per un miglioramento della propria posizione sociale, per l'intrapresa di una libera attività o anche per la sola acquisizione di cognizioni che indubbiamente verranno oltremodo utili, è quanto mai opportuno riflettere se non sia conveniente dedicare un po' di tempo allo studio di questa scienza che ha tra l'altro il pregio di rendersi immediatamente attraente, concreta, accessibile e foriera di moltissime soddisfazioni.

A questo scopo appunto, e con questi intenti, è stato redatto questo Corso.

Non mancano invero altri corsi (specie per corrispondenza) o scuole di radiotecnica, nè mancano (sebbene siano in numero del tutto inadeguato) scuole statali o pareggiate ma la struttura e l'impostazione che caratterizzano queste 156 lezioni sono alquanto particolari, presentando non pochi vantaggi sulle diverse altre forme di cui si è detto.

Anzitutto vogliamo porre in evidenza **il fattore economico.**

Frequentare regolarmente, durante tutto l'anno, una scuola è certo il modo più logico — anche se non il più rapido — per apprendere ma, tralasciando il fatto che rarissimi sono gli Istituti di radiotecnica, è a tutti possibile dedicarsi esclusivamente, e per l'intero anno, allo studio? Noi riteniamo che chi può farlo costituisca oggi assai più l'eccezione che la regola. Ciò significa infatti poter disporre liberamente del proprio tempo senza avere la necessità di un contemporaneo guadagno: il nostro Corso permette a chiunque di studiare a casa propria, nelle ore libere dal lavoro, senza abbandonare o trascurare quest'ultimo. Ciò caratterizza invero anche altri corsi, ma il vantaggio economico diviene notevole ed evidentissimo se si considera che di fronte all'esborso, anche se rateale, di quasi 80.000 lire che i corsi per corrispondenza richiedono, seguendo il nostro Corso la spesa in un anno risulta di poco più di 7500 lire (150 lire alla settimana presso un'edicola) o di 6630 lire totali, con recapito postale, settimanale, delle lezioni a domicilio.

E' superfluo dire che la Modulazione di Frequenza, i transistori, i circuiti stampati, la trasmissione, il telecomando ecc. sono argomenti integrali del Corso e non costituiscono motivo di corsi speciali, aggiunti o particolari.

Le lezioni di questo Corso — a differenza di molte altre — non sono stampate con sistemi di dispensa, a ciclostile, o con sistemi più o meno analoghi, derivanti cioè da un originale battuto a macchina da scrivere; esse sono stampate in uno stabilimento grafico, con chiari caratteri tipografici da cui deriva una assai più agevole lettura e — fattore certamente di non secondaria importanza — un contenuto molto più ampio, corrispondendo una pagina a stampa a tre o quattro pagine di quelle citate. Il lettore avrà, alla fine del Corso, un volume di ben 1248 pagine di grande formato!

Chiunque, indipendentemente dall'età, dalla professione e dalle scuole compiute **può seguire il Corso.** Alle esposizioni teoriche si abbinano numerose, attraenti, istruttive ed utili descrizioni che consentono la realizzazione di ricevitori, amplificatori, strumenti vari e persino di trasmittenti su onde corte.

A questo proposito è sintomatico il fatto che la Direzione non vuole assolutamente assumere la fisionomia di un fornitore o commerciante di materiale radio, rivendendo agli allievi le parti necessarie. Il materiale occorrente l'interessato può acquistarlo dove e come meglio crede e, assai spesso anzi, già ne dispone. Viene così evitato l'acquisto forzoso, caratteristico più o meno di tutti gli altri corsi.

Anche chi è già radiotecnico, anche chi ha seguito o segue altri corsi troverà il massimo tornaconto in questo completo ed aggiornato lavoro. Molte nozioni, è logico, saranno note, altre un po' meno e sarà utile rinfrescarle, e il tutto infine costituirà un manuale di consultazione, prezioso tanto per la teoria esposta quanto per i numerosi schemi, per le tabelle, per i grafici, gli elenchi, i dati, il vocabolario dei termini ecc.

Concludendo, si può affermare che questo **Corso di Radiotecnica** oltre che come insegnamento graduale si presenta come **enciclopedia e rivista assieme** ciò che permette di formare — con modestissima spesa — **il più completo, ricco, utile e pratico volume di radiotecnica di cui sia dato oggigiorno disporre.**

LA VALVOLA TERMOIONICA : IL TRIODO

Un triodo non differisce molto da un diodo nella sua struttura e nella sua realizzazione, se si eccettua, come abbiamo già accennato, la presenza di un *terzo* elettrodo. Questo elettrodo aggiunto è la **griglia pilota** o **griglia di controllo**; esso è posto tra il catodo e la placca. La presenza della *griglia* ha reso possibile l'amplificazione, mediante la quale si può aumentare, praticamente a qualsiasi valore, l'ampiezza di un segnale, per quanto debole esso sia.

Il triodo può essere considerato perciò, il primo dispositivo realmente efficace che, ricevendo un debole segnale elettrico, ne aumenta l'intensità senza frapporre ritardi o inerzia, e senza distorcerlo, cioè senza variarne la forma primitiva.

La **figura 1 A** illustra la sezione trasversale di un triodo a riscaldamento indiretto. L'elemento nuovo, vale a dire l'elettrodo aggiunto rispetto ad un diodo, ossia la griglia, è la spirale di sottile filo metallico avvolta intorno al catodo, ad una certa distanza, e da esso isolata. La griglia è illustrata con maggiori dettagli alla figura 1 **B**, ove si vedono le due sbarrette metalliche di sostegno e gli spazi vuoti tra una spira e l'altra, opportunamente calcolati per permettere il passaggio degli elettroni dal catodo alla placca. Naturalmente, le griglie possono assumere aspetto diverso ed essere, ad esempio, avvolte a spire ellittiche, anzichè circolari, a spire variamente addensate, anzichè uniformemente spaziate, ecc.

Funzionamento

Il compito della griglia consiste dunque nel controllare la quantità di elettroni che si spostano dal catodo alla placca. In un diodo, per contro, si è visto che tale controllo può essere effettuato soltanto, o variando la temperatura del catodo (ciò che raramente avviene) o variando la tensione di placca.

Dalla curva caratteristica di un diodo (vedi, ad esempio, figura 11 a pagina 342 - lezione 43ª), si può notare che la tensione di placca deve subire notevoli variazioni per far variare la corrente di placca dal punto « S » di saturazione, a zero. Un triodo, invece, consente il medesimo risultato con variazioni molto minori di una tensione applicata alla griglia.

Supponiamo di portare la griglia ad un potenziale leggermente negativo rispetto al catodo. Ciò può essere ottenuto mediante l'impiego di una comune batteria a bassa tensione. Questo potenziale negativo di griglia respingerà una parte degli elettroni (non tutti) che si dirigono dal catodo alla placca. Se la griglia viene resa maggiormente negativa, il numero di elettroni che potrà raggiungere la placca subirà un'ulteriore riduzione.

Il potenziale che la griglia presenta rispetto al catodo, viene denominato **polarizzazione di griglia.**

Osserviamo ora i tre disegni della **figura 2**, allo scopo di comprendere in qual modo la griglia eserciti la sua azione di controllo sulla corrente anodica; essi rappresentano la sezione trasversale di un triodo. In **A**, abbiamo il caso in cui la tensione di griglia è zero. Essa non ha perciò alcuna influenza sul passaggio degli elettroni, e la corrente anodica scorre esattamente come scorrerebbe in un diodo. In **B**, appare invece evidente ciò che accade quando la griglia viene resa leggermente negativa: dal momento che anche gli elettroni sono negativi, alcuni vengono respinti verso il catodo dal quale provengono, e solo una parte di essi ha energia sufficiente per raggiungere la placca. Nella sezione **C**, infine, la griglia ha un potenziale fortemente negativo: tutti gli elettroni vengono respinti verso il catodo, e la corrente anodica cessa completamente di scorrere.

Da questa succinta esposizione del fenomeno, si comprende come il vantaggio del triodo nei confronti del diodo consista nel fatto che piccole variazioni di tensione della griglia pilota possono controllare notevoli variazioni nella corrente anodica.

Curve caratteristiche

Il triodo di cui allo schema di **figura 3**, è collegato in modo che, sia la tensione di placca che quella di griglia, possono essere variate rispetto al catodo. La corrente di placca può essere misurata in corrispondenza di qualsiasi valore di tensione di placca o di griglia. Se il valore della tensione di placca viene mantenuto costante, le variazioni della corrente anodica nei riferimenti alla tensione di griglia, possono essere indicate su di un grafico come una curva. Una curva del genere è quella riportata in **figura 4**; essa è nota col nome di *curva* E_g-I_p

Ogni punto della curva E_g-I_p permette di individuare il valore della corrente anodica corrispondente ad una data tensione di griglia. Allorchè quest'ultima diventa sufficientemente negativa, viene impedito totalmente il passaggio di corrente nella valvola. Nella curva presa ad esempio alla **figura 4**, si può notare che per la tensione anodica stabilita in 100 volt, la corrente anodica cessa di scorrere per una polarizzazione negativa di griglia pari a —5,5 volt. Il valore ultimo citato, prende il nome di

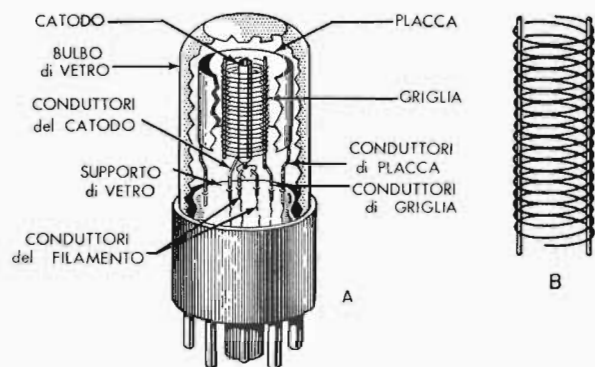



Fig. 1 — Aspetto interno di un triodo ad accensione indiretta sezionato. In A sono visibili tutti gli elettrodi nelle rispettive posizioni: in B è visibile la griglia ingrandita.

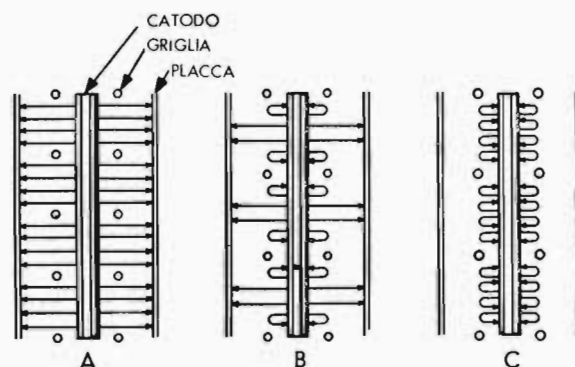



Fig. 2 — Effetto della tensione negativa di griglia: in A essa è nulla, in B è lieve, ed in C è alta, e non passano elettroni.

tensione di interdizione (in inglese: « cut off voltage »). Man mano che la tensione di griglia diventa meno negativa, la corrente anodica scorre, così come indicato dalla curva stessa. È importante notare che una parte di quest'ultima è pressochè una linea retta. In questo tratto della curva, una variazione della tensione di griglia provoca una corrispondente variazione « lineare » della corrente anodica. Molto spesso i triodi vengono fatti funzionare lungo il tratto lineare della loro caratteristica polarizzando la griglia pilota in modo tale che il segnale a corrente alternata che si somma a tale polarizzazione ne sposti il valore, senza però che vengano mai oltrepassati i limiti del tratto rettilineo.

Quando la griglia diventa *positiva*, si comporta come un anodo e perciò assorbe elettroni dal catodo. Quando ciò avviene, si ha una **corrente di griglia.**

Come nel diodo si ha, anche nel triodo, una tensione critica di placca alla quale corrisponde una corrente di saturazione, ossia un valore di tensione positiva dell'anodo tale che, per quanto venga aumentato, non ne consegue più alcun aumento della corrente anodica. La differenza consiste nel fatto che detta tensione critica — e quindi la corrispondente corrente di saturazione — varia nel triodo in funzione della tensione di griglia.

Se infatti, quest'ultima ha valore zero, la tensione critica avrà un valore stabile, come se si trattasse di un diodo: se vi è una polarizzazione negativa, la tensione critica di placca sarà tanto maggiore quanto maggiore sarà il valore negativo di polarizzazione: infatti, maggiore sarà la forza di attrazione che la placca dovrà esercitare sugli elettroni per assorbirli tutti, vincendo la forza contraria causata dalla griglia. Nel caso opposto — e cioè di polarizzazione positiva di griglia — dal momento che parte degli elettroni emessi dal catodo vengono assorbiti dalla griglia stessa, è logico dedurre che la tensione critica avrà un valore inferiore.

In altre parole, è possibile determinare infiniti valori della tensione critica o di saturazione, corrispondenti ad altrettanti valori positivi o negativi della tensione di griglia rispetto al catodo.

La curva di figura 4 è stata ricavata per un solo valore della tensione di placca (100 volt): naturalmente, è possibile ricavare altre curve per altrettanti valori. Quando, così facendo, si affiancano diverse curve di un unico grafico, si ottiene — così come abbiamo visto per il diodo — una « famiglia di curve ». Più esattamente si tratterà, in questo caso, di una famiglia di curve E_g-I_p: un esempio del genere è quello riportato in **figura 5.**

Un altro tipo di famiglia di curve, che fornisce i medesimi dati, è quello illustrato dalla **figura 6.**

Ogni curva di questo secondo grafico viene ricavata mantenendo costante il valore della tensione di griglia E_g, e segnando i valori della corrente di placca, I_p, corrispondenti ai vari valori della tensione di placca, E_p. Questa famiglia di curve, in sostanza non è che un secondo sistema per esprimere quanto è enunciato anche dal grafico della figura 5.

Si può notare quanto si è già affermato e cioè che, se la griglia a un potenziale negativo, la corrente anodica non ha inizio se la tensione di placca, E_p, non ha raggiunto un valore sufficientemente alto da vincere l'azione della griglia. Si noti anche come la corrente anodica aumenti con l'aumentare della tensione di placca.

La famiglia di curve E_p-I_p fornisce gli stessi dati delle curve E_g-I_p, sebbene in forma diversa. Normalmente, nei manuale forniti dai fabbricanti di valvole, sono riportate le famiglie di curve E_p-I_p. Entrambi i tipi sono noti col nome di curve caratteristiche **statiche** della valvola; statiche, in quanto sono rilevate con potenziali fissi di corrente continua, in ogni punto. In pratica, le valvole vengono impiegate sovrapponendo potenziali alternati alle tensioni fisse di polarizzazione. Tuttavia, dalle suddette curve statiche è possibile ricavare diversi dati che si dimostrano di grande utilità nell'analisi del funzionamento di una valvola in un circuito con componenti alternate.

Amplificazione

Una delle caratteristiche più importanti del triodo (e di altre valvole a più elementi, che vedremo in seguito) consiste dunque, come si è già fatto osservare, nella sua possibilità di tradurre piccole variazioni della tensione di griglia in variazioni della corrente anodica notevolmente più elevate: in tal modo si determina la cosiddetta « amplificazione ».

Si può dire che la griglia funzioni come un dispositivo valvolare atto a controllare la corrente anodica, in quanto le variazioni della tensione di polarizzazione di griglia hanno un effetto assai più rilevante sulla corrente di placca di quanto non facciano le variazioni della tensione anodica.

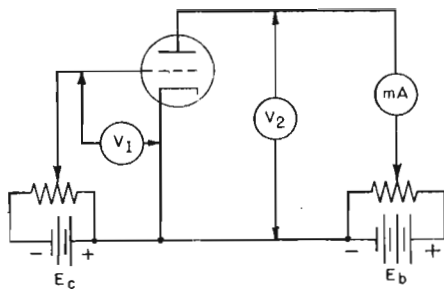



Fig. 3 — Circuito di un triodo provvisto di batteria anodica e di griglia. La corrente di placca varia variando entrambe le tensioni a mezzo dei due potenziometri.

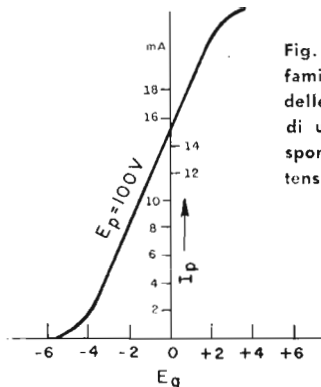
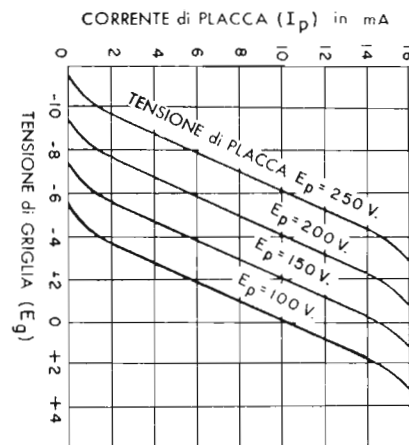



Fig. 4 — Curva tipica della relazione tra E_g ed I_p in un triodo.

Fig. 5 — Tipica famiglia di curve delle relazioni E_g-I_p di un triodo, corrispondenti a varie tensioni anodiche.

Per meglio illustrare quanto sopra, consideriamo un momento il circuito di **figura 7**. In esso, la placca ha una tensione positiva tale a chè la valvola funzioni sulla curva E_g-I_p illustrata nella **figura 8**.

Al conduttore di griglia è applicata una bassa tensione fissa negativa, in modo che il punto di funzionamento sulla curva sia *P*. Alla polarizzazione fissa di griglia viene sovrapposto un segnale a corrente alternata. Detto segnale è rappresentato in forma di sinusoide nella parte inferiore della figura, sotto alla curva. La corrente anodica risultante all'uscita della valvola è rappresentata anch'essa come una sinusoide, a destra della curva.

È facile notare che, se la tensione di griglia diventa più positiva, la corrente anodica aumenta, e viceversa; e che la forma d'onda della corrente anodica è l'esatta riproduzione della tensione alternata di ingresso applicata alla griglia, sintanto che la valvola funziona lungo il tratto rettilineo della sua curva caratteristica. Se il punto centrale di lavoro *P* fosse stato spostato leggermente in basso o notevolmente in alto, la forma d'onda applicata in entrata sarebbe risultata in uscita con notevoli deformazioni che, in linguaggio corrente, costituiscono la **distorsione di forma**.

È opportuno aggiungere inoltre che, finchè la tensione di griglia viene mantenuta ad un valore inferiore a zero, non si ha mai la presenza di corrente di griglia; pertanto non viene spesa alcuna energia da parte di quest'ultima.

CARATTERISTICHE delle VALVOLE TERMOIONICHE

Fattore di amplificazione

Il grado di attitudine di una valvola ad amplificare è noto come **fattore di amplificazione** ed è rappresentato normalmente dalla lettera greca μ (mu). Esso è il rapporto tra le variazioni della tensione di placca e le variazioni della tensione di griglia, necessario per mantenere costante la corrente anodica. L'equazione che esprime questo rapporto, cioè il fattore di amplificazione, è la seguente:

$$\mu = \frac{\Delta E_p}{\Delta E_g} \quad \text{(essendo } I_p \text{ costante).}$$

Il triangolo Δ (lettera greca «delta») è il simbolo adottato per una «piccola variazione».

Supponiamo ad esempio che la variazione di 1 volt della tensione di griglia provochi una variazione di 1 milliampère nella corrente di placca. Se, in queste condizioni, è necessario aumentare la tensione anodica di 20 volt allo scopo di aumentare la corrente di placca del medesimo ammontare (1 mA), si dice che la valvola ha un fattore di amplificazione pari a 20. Il fattore di amplificazione di una valvola si riferisce a determinate e note condizioni di lavoro, come ad esempio la polarizzazione di griglia e la tensione di placca. Tale valore, «mu», varia col variare delle condizioni di lavoro, pur restando costante durante il tratto rettilineo della curva caratteristica. Esso rappresenta il massimo guadagno di tensione che è possibile ricavare dalla valvola. In pratica però, il guadagno finale ottenuto è sempre leggermente inferiore a quello del μ della valvola.

Resistenza di placca

Oltre ad avere un μ o fattore di amplificazione, ogni valvola ha una **resistenza di placca**. La resistenza di placca di una valvola consiste nell'opposizione che la valvola offre al passaggio della corrente; è, si può dire, la resistenza che sussiste tra il catodo e la placca. Tale resistenza è una caratteristica importante, in quanto indica la differenza di potenziale che esiste tra gli elettrodi per una data corrente, attraverso la valvola.

Dalla legge di Ohm, sappiamo che la resistenza di qualsiasi dispositivo è data da $R=E:I$, nella quale E è la tensione, I la corrente ed R la resistenza. Quando il dispositivo presenta un valore resistivo costante, come avviene nelle comuni resistenze, è possibile in qualsiasi momento misurare E ed I e ricavare R. Ad esempio, richiamandoci ancora alla figura 11 di pagina 342, osserviamo la curva contrassegnata «2»: essa è la curva caratteristica di una resistenza. In qualsiasi punto di tale curva, ove sia possibile misurare E sull'asse verticale (ordinate) si può misurare I sull'asse orizzontale (ascisse) e constatare che dividendo E per I, si ottiene sempre lo stesso valore. Si noti che detto rapporto è l'inverso (o reciproco) della tangente dell'angolo che la curva forma con l'asse orizzontale, in altre parole, la resistenza è l'inverso del grado di pendenza della curva stessa. Ad una elevata resistenza corrisponde una curva caratteristica con bassa pendenza.

Quando si vuol trovare la resistenza di placca di una

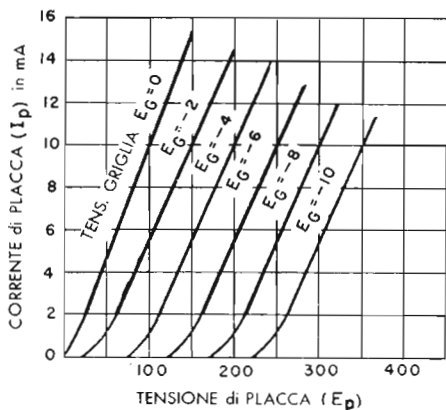



Fig. 6 — Tipica famiglia di curve E_p-I_p di un triodo. Ciascuna di esse è riferita a una data tensione di polarizzazione di griglia. La loro interpretazione consente di ricavare dalla valvola le massime prestazioni.

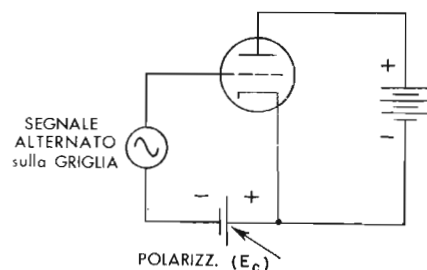



Fig. 7 — Schema di principio di utilizzazione di un triodo come stadio amplificatore. Alla tensione di griglia viene sovrapposta una tensione alternata che costituisce il segnale.

valvola, si può scegliere qualsiasi punto della curva caratteristica E_p-I_p, e dividere il valore di E_p in quel punto per il valore di I_p corrispondente. Il risultato è il valore della resistenza di placca alla corrente continua, per quel punto. Tuttavia, quando si usa la valvola come amplificatrice, la stessa deve lavorare lungo una zona della sua curva caratteristica e non in un solo punto; sfortunatamente, la resistenza di placca alla corrente continua non è costante in tutti i punti della curva. Questo fatto è evidente dalla curva « 1 » della figura 11 di pagina 342. La « curva » della valvola non è una linea diritta; perciò i valori del rapporto E_p:I_p non sono gli stessi in tutti i punti della curva. Risulta quindi necessario conoscere la resistenza alla corrente alternata, ossia la **resistenza dinamica** che la valvola amplificatrice presenta.

Supponiamo di variare di poco la tensione di placca, cioè ΔE_p. Ciò determina una leggera variazione della corrente anodica, pari a ΔI_p.

Il rapporto $\Delta E_p:\Delta I_p$ rappresenta la resistenza dinamica di placca, o resistenza alla corrente alternata. L'equazione che determina questo rapporto, è pertanto la seguente:

$$R_p = \frac{\Delta E_p}{\Delta I_p} \quad \text{(essendo } E_g \text{ costante).}$$

Dalla teoria matematica delle curve, sappiamo che la pendenza di una curva è la tangente dell'angolo che essa forma con l'asse orizzontale. Alla **figura 9**, notiamo che R_p è l'inverso della tangente (ossia la cotangente) di tale angolo, vale a dire, è l'inverso della pendenza.

Nella famiglia di curve di figura 6, la pendenza delle curve è quasi la stessa in diversi punti e per diverse curve. Questo significa che la valvola ha la medesima resistenza dinamica di placca su un'ampia gamma di condizioni di lavoro. Tale resistenza dinamica di placca è enunciata in tutte le tabelle che elencano le caratteristiche delle valvole. Ad esempio, la resistenza c.a. di placca di un triodo tipico, come la 6SN7, ammonta a circa 7.000 ohm. La sua resistenza statica è leggermente inferiore. La resistenza statica di un diodo invece, è di circa 500 ohm nella fase conduttiva; la sua resistenza dinamica di placca è pressochè eguale. Il valore di R_p in ohm, come pure il fattore *mu* di qualsiasi valvola, possono essere ricavati dalle curve caratteristiche, come vedremo in seguito.

Conduttanza mutua

In aggiunta ai fattori R_p e *mu* di una valvola, esiste una terza caratteristica detta **conduttanza mutua** o **transconduttanza**; viene rappresentata dalla abbreviazione g_m. Essa è definita come rapporto tra una piccola variazione della corrente anodica e la piccola variazione della tensione di griglia necessaria per provocarla, mentre la tensione di placca viene mantenuta costante. In altre parole, essa è una misura di come la griglia controlli la corrente di placca. L'equazione per il calcolo della conduttanza mutua è:

$$g_m = \frac{\Delta I_p}{\Delta E_g} \quad \text{(essendo } E_p \text{ costante).}$$

Analogamente a *mu* ed a R_p, il valore di g_m può essere ricavato dalle curve caratteristiche. Essendo g_m un rapporto di corrente alla tensione, è praticamente l'inverso del concetto di ohm; per questo motivo, la sua unità di misura è il **mho** (la parola ohm a rovescio).

Il valore g_m è di norma talmente piccolo che viene enunciato in **micromho**, ossia in *milionesimi di mho*.

Le tre caratteristiche di una valvola sinora considerate sono in relazione tra loro, e dipendono essenzialmente dalla struttura della valvola. Poichè:

$$g_m = \frac{\Delta I_p}{\Delta E_g}$$

e poichè:

$$R_p = \frac{\Delta E_p}{\Delta I_p}$$

si ha che:

$$\mu = g_m \times R_p$$

Quindi, conoscendo due delle caratteristiche, è facilmente possibile calcolare la terza. Così:

$$g_m = \frac{\mu}{R_p} \quad \text{ed} \quad R_p = \frac{\mu}{g_m}$$

Esiste un secondo metodo per indicare la conduttanza mutua, secondo il quale si considera il fatto che tale caratteristica esprime le variazioni della corrente anodica

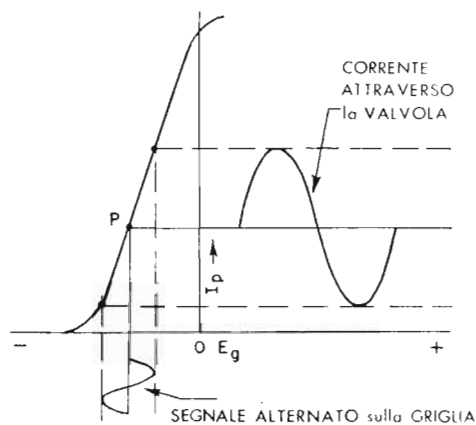



Fig. 8 — Curva caratteristica E_g-I_p di un triodo. Essa dimostra come la « pendenza » determini l'ammontare dell'amplificazione. In basso è rappresentato il segnale di ingresso, e a destra quello di uscita (amplificato).

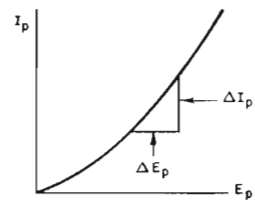



Fig. 9 — Diagramma illustrante il motivo per cui la resistenza di placca (R_p) è l'inverso della tangente dell'angolo che la curva forma con l'asse orizzontale.

in milliampère, in funzione delle variazioni della tensione di griglia in volt. Poichè, infatti, una variazione di V volt della tensione di griglia provoca una variazione di mA milliampère nella corrente di placca, si usa dire che la conduttanza mutua di una valvola è espressa in mA/V (leggi milliampère-volt).

Mentre le tabelle che illustrano le caratteristiche delle valvole americane riportano generalmente la conduttanza mutua in micromho (μmho), quelle che illustrano le caratteristiche delle valvole europee, riportano detto valore preferibilmente in mA/V.

È inoltre da notare che la differenza consiste soltanto nella preferenza di un sistema piuttosto che l'altro, in quanto il valore indicato è assolutamente il medesimo. Infatti, ad esempio,

2.500 μmho corrispondono a 2,5 mA/V.

3.000 μmho corrispondono a 3 mA/V, e così via.

USO delle CURVE CARATTERISTICHE

La **figura 10** illustra una famiglia di curve E_p-I_p, facenti parte delle caratteristiche di un noto tipo di triodo amplificatore, il tipo 6J5. Si noti che i quattro punti contrassegnati A, B, C e D si trovano sui tratti rettilinei delle curve. Ci serviremo di queste curve per ricavare il fattore di amplificazione, la resistenza di placca e la conduttanza mutua, nel modo seguente:

Il *fattore di amplificazione* è dato da:

$$\mu = \frac{\Delta E_p}{\Delta E_g} \quad \text{per } I_p \text{ costante} = 7 \text{ mA}$$

Il punto A corrisponde a . . . . . . 155 volt
Il punto C corrisponde a . . . . . . 195 volt

La variazione di E_p ammonta a . . . . 40 volt

Il punto A corrisponde a . . . . . . —4 volt
Il punto C corrisponde a . . . . . . —6 volt

La variazione di E_g ammonta a . . . . 2 volt

$$\mu = \frac{40\ V}{2\ V} = 20$$

La *resistenza di placca* è data da:

$$R_p = \frac{\Delta E_p}{\Delta I_p} \quad \text{per } E_g \text{ costante} = -4 \text{ V}$$

Il punto A corrisponde a . . . . . . 155 volt
Il punto B corrisponde a . . . . . . 185 volt

La variazione di E_p ammonta a . . . 30 volt

Il punto A corrisponde a . . . . . . 7 milliampère
Il punto B corrisponde a . . . . . . 11 milliampère

La variazione di I_p ammonta a . . . 4 milliampère

$$R_p = \frac{30\ V}{4\ mA} = 7.500 \text{ ohm}$$

$$g_m = \frac{\Delta I_p}{\Delta E_g} \quad \text{per } E_p \text{ costante} = 155 \text{ volt}$$

La *transconduttanza* è data da:

Il punto A corrisponde a . . . . . . 7 milliampère
Il punto D corrisponde a . . . . . . 12,5 milliampère

La variazione di I_p ammonta a . . . 5,5 milliampère

Il punto A corrisponde a . . . . . . —4 volt
Il punto D corrisponde a . . . . . . —2 volt

La variazione di E_g ammonta a . . . —2 volt
g———0,00275 mho, ossia 2.750 mho, pari a 2,75 m

$$g_m = \frac{5{,}5\ mA}{2\ V} = 0{,}00275\ mho,$$

ossia 2.750 μmho, pari a 2,75 mA/V.

Effetti della resistenza di carico

Fino ad ora abbiamo considerato il funzionamento della valvola, unicamente con riferimento alle reazioni interne. Non abbiamo ancora esaminato come si possa ottenere da essa una tensione utile di uscita. Uno dei metodi più comuni per raggiungere detto scopo consiste nel-

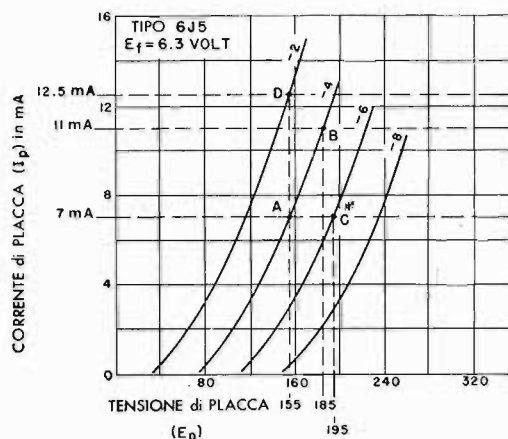



Fig. 10 — Curva tipica E_p-I_p di un triodo tipo 6J5.

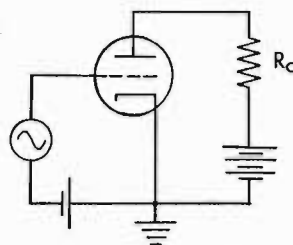



Fig. 11 A — Circuito tipico di un triodo con griglia polarizzata e con resistenza di carico anodico. Alla tensione di griglia è sovrapposto un segnale alternato.

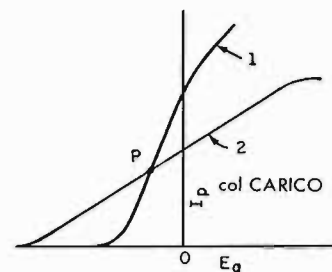



Fig. 11 B — Variazione della curva E_g-I_p prodotta dalla resistenza di carico nel circuito anodico. La pendenza diminuisce.

l'inserire una resistenza di carico nel circuito di placca, qual'è R_c nello schema di **figura 11 A**; ai capi di tale resistenza si verifica una caduta di tensione proporzionale alle variazioni della corrente anodica.

In assenza di tale resistenza, ossia, di carico, qualsiasi tensione di segnale applicata alla griglia determina una variazione della corrente anodica che si espleta lungo la curva E_g-I_p, contrassegnata con numero « 1 » nella figura 11 **B**.

L'effetto della resistenza di carico consiste nel costringere la corrente di placca a seguire invece la curva contrassegnata con numero « 2 », la quale ha una pendenza inferiore di un ammontare proporzionale al valore della resistenza stessa.

La curva « 2 » viene denominata **caratteristica dinamica**, in quanto permette di vedere il comportamento della valvola nelle effettive condizioni di lavoro, ossia quando nel suo circuito di placca si trova un'impedenza di carico, e viene applicata una tensione alternata alla griglia.

Il motivo per il quale la corrente di placca segue la caratteristica dinamica, risiede nel fatto che, con un carico nel circuito di placca, la tensione di quest'ultima differisce dalla tensione anodica di alimentazione di una quantità pari alla caduta di tensione che si ha ai capi della resistenza. Si noti che la caratteristica dinamica è più lineare delle caratteristiche statiche della valvola.

La tensione di placca nel punto di funzionamento *P*, equivale alla tensione di alimentazione anodica, meno la caduta di tensione presente ai capi della resistenza di carico R_c. Un aumento della tensione di griglia (nel senso positivo, quindi, anche una diminuzione della tensione negativa), provoca un aumento della corrente anodica e, di conseguenza, un aumento della tensione ai capi di R_c. Quest'ultimo aumento, a sua volta, riduce la tensione disponibile alla placca, evitando così che la corrente anodica aumenti nel modo indicato dalla curva « 1 ». Al di sotto di *P*, la tensione di placca aumenta quando la corrente diminuisce. Per questo motivo, la curva della corrente di placca col carico, segue l'andamento della curva « 2 », invece di quello contrassegnato dalla curva « 1 ». La pendenza della nuova curva, d'altra parte, dimostra che l'amplificazione effettiva da parte della valvola è inferiore a quella indicata dal fattore di amplificazione, *mu*, della valvola stessa.

Rette di carico

Molti problemi di calcolo relativi alle valvole termoioniche possono essere risolti mediante i grafici, con l'aiuto delle curve E_p-I_p e di una **retta di carico** che può essere tracciata per un dato valore del carico, ed in riferimento ad una data tensione anodica. Nel caso che il carico sia esclusivamente resistivo (ossia costituito da sola resistenza ohmica), per determinare la tensione di uscita allorchè sono noti il tipo di valvola, la resistenza di carico, la tensione di polarizzazione, la tensione anodica e l'ampiezza del segnale di ingresso, è possibile impiegare una retta di carico cosiddetta « statica ».

Applicando la legge di Kirchhoff al circuito di **figura 12 A** si può stabilire la seguente espressione:

$$E_p + I_p R_c = E_b$$

Se la tensione di alimentazione E_b ammonta a 350 volt, e la resistenza di carico R_c è di 25.000 ohm, l'espressione diventa:

$$E_p + I_p \ (25.000) = 350$$

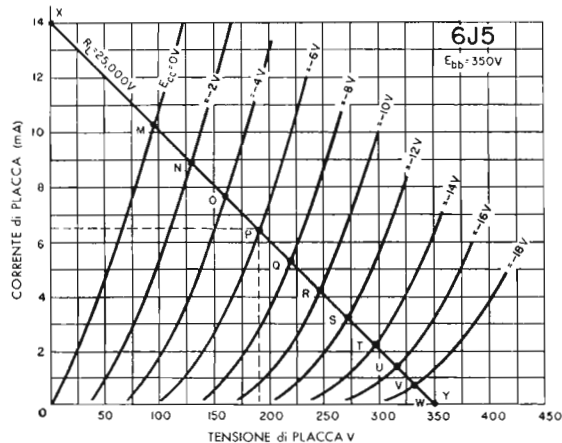
Come si nota, in essa figurano due valori incogniti (E_p ed I_p), per cui può essere rappresentata da una linea retta. Dal momento che una retta può essere individuata da due soli punti, si individuano sul grafico quelli corrispondenti a $E_p = 0$ e ad $I_p = 0$, come illustrato in figura 12.

$$\text{Quando } E_p = 0, \text{ si ha che } I_p = \frac{350}{25.000} = 14 \text{ mA}$$

quando $I_p = 0$, si ha che $E_p = 350$ volt.

Una volta individuati questi due punti sul grafico illustrante una famiglia di curve E_p-I_p di una valvola (ad esempio la 6J5), essi vengono uniti con una linea retta. Questa è la retta di carico per la corrente continua (come illustrato in figura 12) relativa ad una resistenza di carico di 25.000 ohm e ad una tensione di alimentazione anodica di 350 volt.

Il **punto di funzionamento** di una valvola determina il valore della tensione di placca, della tensione di polarizzazione di griglia, nonchè quello della corrente anodica, in condizioni statiche (ossia in assenza di variazioni dovute alla presenza di un segnale). La retta di carico è costituita da un insieme infinito di punti successivi che denotano una data tensione ed una data corrente di plac-

Fig. 12 — Tipica famiglia di curve di un triodo del tipo 6J5. Nota la tensione di alimentazione ed il valore della resistenza di carico, si può tracciare la retta di carico. Essa consente di determinare la tensione e la corrente effettive di placca, nonchè il fattore di amplificazione, in funzione delle varie tensioni di polarizzazione della griglia pilota.

ca. Il punto di funzionamento della valvola si trova su questa retta. Per individuarlo, è necessario che essa venga intersecata da una seconda retta che esprima la tensione di polarizzazione.

Supponiamo che nel circuito considerato, essa ammonti a —6 volt. Il punto di intersezione della curva corrispondente a —6 volt con la retta di carico è il punto di lavoro che si desiderava individuare. In corrispondenza di questo punto (P), E_p = circa 180 volt, I_p = 6,5 mA, ed E_c = —6 volt.

Se il valore della resistenza di carico fosse di 50.000 ohm, e la tensione di alimentazione fosse invece di 400 volt, la retta di carico sarebbe ovviamente un'altra.

Il lettore potrà — volendolo — tracciarla sul medesimo grafico di figura 12 procedendo in modo analogo al precedente. Infatti,

$$\text{quando } E_p = 0, \text{ si ha che } I_p = \frac{400}{50.000} = 8 \text{ mA}$$

e quando I_p = 0, si ha che E_p = 400 volt.

Una volta tracciata la retta che unisce questi due punti, si può notare che con una polarizzazione di griglia pari ancora a —6 volt, la tensione di placca E_p ammonta a circa 170 volt, e la corrente di placca I_p a circa 4,2 milliampère.

Nel primo caso considerato, se la polarizzazione di griglia fosse portata a —8 volt, il punto di lavoro coinciderebbe col punto Q, in corrispondenza del quale E_p = circa 220 volt, ed I_p = 5,2 mA. Si noti che — in ogni caso — il punto di lavoro resta sulla retta di carico.

Supponiamo ora di applicare alla griglia un segnale costituito da una tensione alternata sinusoidale che presenti una differenza di potenziale di 4 volt tra picco e picco. Se ci riferiamo sempre al primo caso considerato, il punto P, corrispondente ad una polarizzazione di —6 volt è quello presente sulla retta di carico. In tali condizioni, la tensione presente sulla griglia varia da (—6)+ +(—2) = —8 volt a (—6)+(+2) = —4 volt.

Negli istanti in cui la tensione di polarizzazione diventa —4 volt (ossia durante le semionde positive del segnale), il punto di funzionamento si sposta nel punto 0, al quale corrisponde E_p = circa 160 volt, mentre negli istanti in cui la medesima tensione diventa —8 volt, il punto di funzionamento è Q, al quale corrisponde E_p=circa 220 volt.

Durante un'intera oscillazione della tensione di griglia (dovuta alla sovrapposizione del segnale alla tensione di polarizzazione), la tensione di placca segue l'andamento del segnale stesso, ma con uno sfasamento di 180°. In tali condizioni però, mentre la variazione della tensione di griglia è al massimo di 4 volt, la tensione di placca varia da 160 a 220, con una differenza di ben 60 volt tra picco e picco.

Ciò significa che il rapporto tra le variazioni della tensione di placca, e le variazioni della tensione di griglia ammonta a 60:4=15. Tale è il guadagno, ossia l'amplificazione, che può essere ottenuta mediante una valvola 6J5 funzionante in queste condizioni, ossia con una tensione di alimentazione pari a E_b = 350 volt, una resistenza di carico pari a 25.000 ohm, ed una polarizzazione fissa di griglia pari a —6 volt.

Questo rapporto, detto **coefficiente di amplificazione**, può variare modificando le condizioni di lavoro, ed il lettore potrà trovarne facilmente altri, ripetendo il calcolo nei confronti di altri valori della resistenza di carico e della tensione di polarizzazione.

Relazioni di fase del segnale in una valvola

La **figura 13 A** illustra il circuito di un triodo usato come amplificatore. La griglia della valvola è polarizzata mediante una piccola batteria, alla cui tensione viene a sommarsi algebricamente quella di segnale, a corrente alternata.

La tensione d'uscita, viene prelevata dal punto *X* ed è riferita a massa, vale a dire che tra entrata (griglia) e uscita (placca) vi è in comune il punto di massa.

Quando la tensione alternata del segnale entrante è tale da rendere più positiva la griglia, la corrente di placca aumenta; ciò determina un aumento della caduta *IR* ai capi della resistenza di carico. La tensione istantanea nel punto *X* diminuisce rispetto al suo valore precedente rispetto a massa. Così la tensione istantanea alla placca della valvola diventa meno positiva. Quando invece il segnale alternato applicato alla griglia si somma alla sua

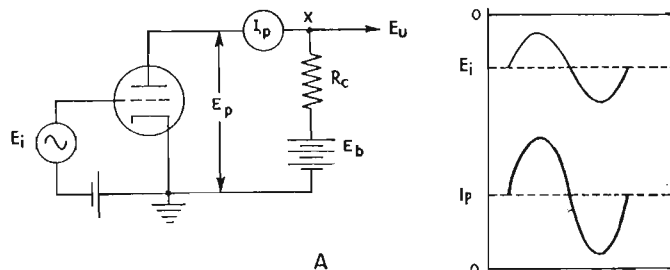



Fig. 13 A e B — Inversione di fase del segnale tra griglia e placca. In A è lo schema del circuito: in B le relazioni di fase tra la tensione di griglia E_i, la corrente di placca I_p, e la tensione di placca (segnale di uscita E_u).

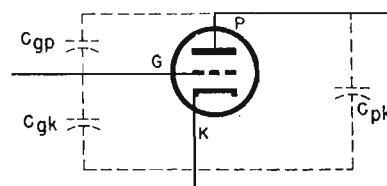



Fig. 14 — Schema rappresentativo delle capacità interelettrodiche. C_{gp} rappresenta la capacità tra griglia e placca, C_{gk} tra griglia e catodo, e C_{pk} tra placca e catodo. Esse sono dovute al fatto che gli elettrodi, isolati tra loro dal vuoto, formano tra ogni paio un condensatore.

tensione base in modo da aumentarne il potenziale negativo, avviene il contrario, ossia la corrente anodica diminuisce. In conseguenza di ciò, diminuisce la caduta di tensione *IR* ai capi della resistenza di carico, R_c, per cui la tensione istantanea nel punto *X* aumenta rispetto al suo valore precedente, assumendo un nuovo valore pari alla differenza tra la tensione di alimentazione e la caduta attraverso R_c.

Dal momento che, come abbiamo visto, un aumento della tensione di griglia determina una diminuzione della tensione di placca nel punto *X*, e viceversa, ne consegue che la tensione di uscita è sfasata di 180° rispetto a quella di entrata.

Le variazioni della tensione di griglia, della corrente di placca e della tensione di placca, sono illustrate alla figura 13 **B**. In essa, E_b rappresenta la tensione di alimentazione anodica, ed E_p la tensione di placca rispetto a massa, ossia la tensione di uscita.

L'inversione di polarità tra le tensioni di griglia e quelle di placca, può essere chiarita, considerando l'applicazione della legge di Kirchhoff alle resistenze in serie. La somma delle cadute *IR* nell'intero circuito deve equivalere, in ogni istante, alla tensione di alimentazione E_b. Pertanto, se la caduta di tensione ai capi di R_c aumenta, il valore di E_p disponibile per la placca della valvola deve essere necessariamente inferiore.

Le capacità interelettrodiche

Come si è visto in precedenza, tra due corpi metallici separati da un dielettrico, esiste una « capacità ». Il valore di tale capacità, come ben sappiamo, dipende dalla superficie dei corpi metallici, dalla distanza tra di essi, nonchè dalla natura del dielettrico.

Gli elettrodi interni di una valvola sono di metallo, e sono separati da uno strato di aria ad alto grado di rarefazione (in quanto, internamente al bulbo, è stato praticato il vuoto che, per quanto spinto sia, non può certamente essere assoluto); essi costituiscono quindi un condensatore multiplo, le cui capacità, dette **capacità interelettrodiche**, sono illustrate simbolicamente alla **figura 14** nel caso del triodo.

Le capacità esistenti in un triodo sono quelle tra griglia e catodo, tra griglia e placca e tra catodo e placca. Pur essendo di valore molto basso, tali capacità possono tuttavia permettere il passaggio di piccole quantità di segnale a corrente alternata tra un elettrodo e l'altro; specialmente tra griglia e placca, il passaggio può, a volte, causare gravi inconvenienti. Se la valvola funziona con frequenze molto elevate, la capacità tra griglia e placca invia dalla seconda alla prima un segnale indesiderato che è in fase con quello presente sulla griglia; esso può provocare un fenomeno oscillatorio parassita (che vedremo meglio in seguito) che però può essere neutralizzato inviando dal circuito di placca al circuito di griglia un secondo segnale, di eguale ampiezza, ma in opposizione di fase rispetto a quello prodottosi. Questo segnale sfasato viene prelevato dal circuito di placca in modo che si trovi a 180° fuori fase rispetto a quello interno al triodo, e viene inviato al circuito di griglia attraverso un condensatore esterno detto *condensatore di neutralizzazione*. Quest'ultimo, è costituito, di solito, da un piccolo compensatore, regolabile al fine di fargli assumere il valore di capacità necessario per la soppressione del segnale interno di reazione.

Poichè nei triodi la capacità tra griglia e placca è relativamente elevata, l'impiego di questo tipo di valvola come amplificatore di frequenze alte è assai limitato.

Vediamo ora per quale motivo l'amplificazione da parte di un triodo è limitata dal segnale presente sulla placca. Supponiamo di inviare alla griglia un segnale positivo; esso provoca un aumento della corrente anodica.

Tale corrente determina la presenza, come abbiamo visto, di un segnale negativo sulla placca. Tuttavia, un segnale negativo alla placca tende a diminuire la corrente anodica, per cui, maggiore è il coefficiente di amplificazione, più la placca contrasta l'azione della griglia. Quando la griglia tende a provocare un aumento della corrente anodica, la placca tende a farla diminuire e viceversa. Pertanto, l'influenza della placca sulla griglia limita l'amplificazione del triodo. Tale azione di opposizione della placca, come pure l'effetto della capacità interelettrodica, viene notevolmente ridotto allorchè la placca è separata dalla griglia mediante uno **schermo**, come avviene in particolari tipi di valvole che vengono appunto definite schermate (tetrodi, pentodi), e che saranno oggetto di una apposita lezione nel fascicolo prossimo.

IL PROVAVALVOLE

Il compito del provavalvole, consiste come esplicitamente dice il suo termine, nel misurare le caratteristiche di funzionamento di una valvola termoionica e nell'indicare con sufficiente approssimazione il suo rendimento.

Le valvole termoioniche sono classificate, a seconda del loro funzionamento e del numero di elettrodi attivi che contengono, in diodi, triodi, tetrodi, pentodi, esodi, eptodi, ottodi, valvole multiple, valvole a gas ed infine valvole speciali. Esistono tra queste ultime, tipi il cui uso è riservato ad apparecchiature che esulano del campo radiotecnico vero e proprio; tali valvole non possono essere controllate con un provavalvole di tipo commerciale.

I provavalvole generalmente controllano la valvola nel suo valore di conduttanza mutua, accertano la presenza di eventuali cortocircuiti, la presenza di gas, e provano, a volte, l'emissione elettronica.

Si incontrano spesso valvole multiple, ossia tipi diversi di valvole riuniti in un unico bulbo. Ogni complesso di elettrodi ha, in tal caso, le sue proprie connessioni col circuito esterno, sia a mezzo di piedini che, a volte, di morsetti o clips. Esempi correnti di valvole multiple sono i doppi-diodi (nello stesso bulbo vi sono due placche e due catodi) ed i doppi-diodo-triodo. Ciascuna unità di una valvola multipla funziona nella stessa identica maniera in cui funzionerebbe se fosse contenuta in un proprio bulbo. Le valvole multiple richiedono prove separate per ciascuna unità.

Dobbiamo accennare anche alla esistenza di valvole cosiddette a gas. Possono essere diodi, triodi, o a più elettrodi: in esse la presenza di un gas mantiene il flusso elettronico tra catodo e placca ad un minimo per tutti i valori di differenza di potenziale, sino ad un certo valore noto come potenziale di ionizzazione. Quando questo valore viene raggiunto, il gas si ionizza, e si divide in elettroni ed in ioni positivi: il flusso elettronico nella valvola aumenta rapidamente ad un valore molto elevato.

In generale, la base di una valvola termoionica rientra, per ciò che riguarda la sua struttura, in un tipo standardizzato: la **figura 1**, ne illustra alcuni. Per far sì che ogni piedino della base venga inserito quando si pone la valvola nell'apparecchiatura, in corrispondenza dell'apposito contatto e non altrimenti, esistono vari sistemi tra i quali i seguenti sono i principali:

1) Alcuni piedini vengono realizzati con un diametro maggiore degli altri. È evidente che, in tal modo, la valvola può essere inserita nel suo supporto in un'unica posizione.

2) I piedini possono essere distanziati tra loro con distanze non eguali. Le distanze relative corrispondono a quelle presenti tra i fori del portavalvola in cui i piedini devono essere inseriti. Anche questo sistema impedisce che la valvola venga innestata in maniera errata.

3) Lo zoccolo della valvola può essere munito di una speciale prominenza sagomata che serve da guida e si adatta ad un foro di forma corrispondente praticato nel portavalvola. La valvola può entrare nel supporto solo quando la guida si trova in corrispondenza della sede dell'alloggiamento relativo.

4) Lo zoccolo della valvola è dotato di un dispositivo che ne determina il fissaggio meccanico nel supporto allorchè la valvola è inserita nella posizione appropriata. Tale dispositivo consiste in una fessura circolare posta intorno all'estremità inferiore della guida, e di una molla a scatto che si inserisce in tale fessura. Le valvole provviste di questo dispositivo sono del tipo detto a fissaggio automatico.

I DIFETTI più COMUNI

La durata di una valvola è in stretta relazione col tipo di circuito in cui essa è impiegata, con la temperatura, e col modo in cui l'apparecchio viene trattato. Se vengono rispettate le caratteristiche di funzionamento, e se la valvola non viene tenuta in funzione per periodi eccessivamente lunghi nelle condizioni di lavoro più spinto, la durata si aggira intorno alle 2.000 ore o più, prima che il filamento si interrompa. Se detta valvola viene utilizzata in un circuito nel quale circolino correnti relativamente deboli, la durata sarà maggiore che non se il funzionamento avviene con correnti elevate. Le valvole termoioniche che funzionano con temperature ambiente molto elevate oppure in località particolarmente umide, nei casi cioè in cui intervengono gravi fenomeni di ossidazione dei contatti metallici, hanno una durata inferiore in confronto a quella che si ottiene in zone temperate o fredde. Allorchè le valvole vengono impiegate su mezzi mobili, gli urti e le vibrazioni possono deteriorare i contatti interni causando rotture e cortocircuiti.

Altri probabili difetti delle valvole possono essere l'eventuale perdita di isolamento tra il catodo ed il filamento, una eccessiva presenza di sostanze gassose all'interno del tubo di vetro per i tipi a vuoto, e un'emissione di elettroni scarsa o comunue non uniforme da parte del catodo. Le valvole difettose possono denotare mancanza di

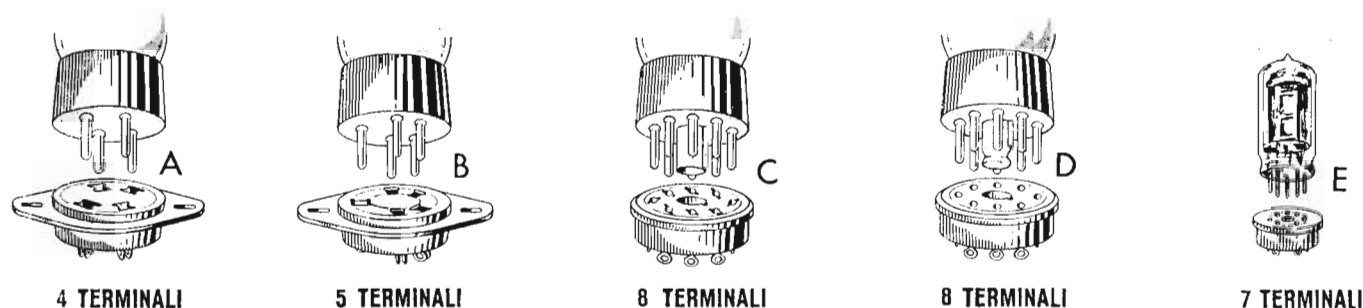



Fig. 1 — Vari tipi di zoccoli di valvole, raffigurati unitamente ai rispettivi portavalvole. In A il classico tipo a 4 piedini, due dei quali hanno un diametro maggiore. In B il tipo a 5 piedini disposti a pentagono irregolare. In C il tipo detto « octal », a 8 piedini. In D un tipo analogo a fissaggio automatico, ed in E il tipo « miniatura », i cui contatti escono dal bulbo.

incandescenza del filamento, corrente di placca insufficiente o eccessiva, luminescenza anormale dovuta alla presenza di gas, oppure presenza di scintillio tra gli elettrodi interni.

SISTEMI di PROVA

I provavalvole possono effettuare in genere, quattro distinti tipi di prove: la prova dell'emissione, la misura della conduttanza mutua, l'accertamento di eventuali cortocircuiti, ed il controllo della quantità di gas presente all'interno del bulbo.

La prova dell'emissione permette di misurare la quantità di elettroni emessi dal catodo in condizioni normali di funzionamento. Se l'elemento riscaldante, cioè il filamento, è interrotto, l'emissione non ha luogo. Se il rivestimento del catodo o il catodo stesso è esaurito o quasi, l'emissione può essere inferiore a quella normale, irregolare, o addirittura nulla.

La misura della conduttanza mutua, G_m, di una valvola, permette di valutare la pendenza della curva caratteristica allorchè la valvola viene fatta funzionare applicando agli elettrodi le normali tensioni di lavoro. In questo caso, la conduttanza mutua viene misurata e confrontata con i valori enunciati dal fabbricante, ed è possibile ottenere una indicazione effettiva del rendimento. La maggior parte dei provavalvole a conduttanza mutua sono muniti di uno strumento la cui scala è suddivisa in tre zone corrispondenti allo stato di: « efficiente », « mediocre » o « inefficiente ».

È possibile accertare **la presenza di cortocircuiti** tra gli elettrodi collegando uno di essi ad una sorgente di tensione, attraverso una lampada al neon, e tutti gli altri o qualcuno di essi all'altro polo della medesima sorgente. Se il primo elettrodo è in contatto diretto con uno degli altri, la lampada al neon si accende denunciando il cortocircuito: mediante un apposito commutatore, è possibile realizzare tutte le combinazioni che controllano la eventuale presenza di cortocircuito tra ognuno degli elettrodi e gli altri.

Per controllare la eventuale presenza di **una quantità eccessiva di gas,** si applica ai vari elettrodi la tensione di lavoro adatta al normale funzionamento, dopo di che si prende nota del valore della corrente di placca. Dopo, mediante un commutatore, si inserisce una resistenza di polarizzazione nel circuito della griglia di controllo. Se vi è presenza di gas la resistenza inclusa determina un potenziale di griglia più positivo: si ha una apprezzabile corrente di griglia e la corrente di placca subisce un notevole aumento. Se le condizioni del vuoto sono normali, l'introduzione della resistenza non apporta varazioni di rilievo.

PROVE TIPICHE sulle VALVOLE

Metodo della sostituzione

Allorchè si sospetta che una valvola sia difettosa, la sostituzione di una valvola buona al posto della prima costituisce il metodo semplice per determinare se il sospetto è fondato o meno. Ad esempio, se una valvola amplificatrice di Bassa Frequenza di un ricevitore ha un basso rendimento, le onde sonore provenienti dall'altoparlante o dalla cuffia sono proporzionalmente deboli; allorchè detta valvola viene sostituita con un'altra di sicura efficienza, la potenza sonora aumenta istantaneamente denunciando le cattive condizioni della prima. Tale valvola può, a volte, essere utilizzata per altri circuiti per i quali il funzionamento può dimostrarsi ancora soddisfacente, tuttavia, ciò non è molto consigliabile.

Se in un apparecchio esiste più di una valvola difettosa, la sostituzione di una sola di esse non apporta, in certi casi, variazione tali da assodarne il difetto eventuale; d'altra parte, se vengono sostituite tutte le valvole, non esiste alcun mezzo per individuare quelle difettose. In tal caso il provavalvole rivela la sua piena utilità e si dimostra particolarmente utile, permettendo un notevole risparmio di tempo.

Prova dell'emissione

Se l'emissione elettronica del catodo è scarsa, gli elettroni attirati dalla placca sono in numero ridotto, per cui la corrente anodica è bassa, e la valvola non può amplificare normalmente. Per misurare l'intensità di detta emissione, la valvola viene collegata come un diodo, ossia come un rettificatore di una sola semi-onda (vedi **figura 2**). Il primario del trasformatore viene collegato alla rete di alimentazione. La placca della valvola, unita mediante collegamenti esterni a tutte le eventuali griglie,

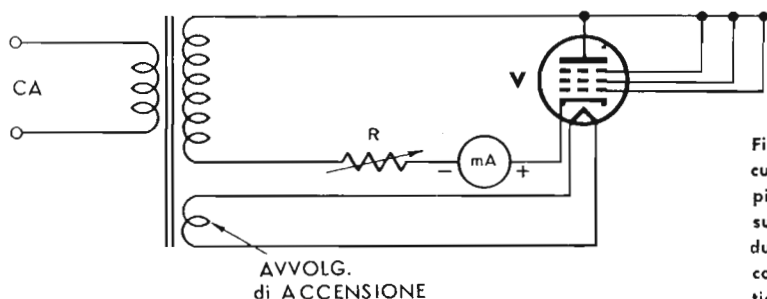
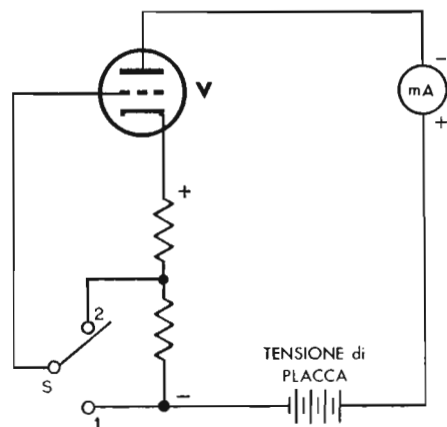



Fig. 2 — Sistema di collegamento degli elettrodi di una valvola a tre griglie, per la prova della sola emissione. Le griglie sono tutte connesse alla placca, e la valvola diventa un diodo.

Fig. 3 — Circuito di principio per la misura della conduttanza mutua col metodo statico. Mediante il commutatore S è possibile dare alla griglia due diverse tensioni.

viene collegata ad uno dei terminali del secondario ad alta tensione. In serie a questo circuito si trova un milliampèrometro (MA) ed una resistenza, *R*, e l'intero circuito si chiude sull'altro terminale del medesimo avvolgimento del trasformatore. La placca e le griglie hanno evidentemente il medesimo potenziale rispetto al catodo, e l'intera valvola funziona da rettificatrice di una semionda in quanto permette il passaggio della corrente solo durante il semiperiodo nel quale detti elettrodi hanno un potenziale positivo rispetto al catodo. La quantità di corrente che scorre nel circuito durante questo mezzo ciclo è un'indicazione dell'emissione catodica.

La corrente misurata dallo strumento in questo circuito è continua e pulsante. Quando si deve effettuare la prova di un diodo che normalmente funziona con correnti deboli, la tensione applicata deve essere contenuta entro i limiti massimi consentiti dal fabbricante. In questo caso la resistenza *R* deve essere regolata in modo tale da includere tutto il suo valore che ammonta a 5.000 ohm, in quanto una emissione elettronica anormale causata da una eccessiva tensione tra placca e catodo potrebbe danneggiare uno di tali elettrodi o entrambi.

La griglia di controllo delle valvole multigriglia è positiva rispetto al catodo durante il semiperiodo in cui la corrente scorre, e ciò determina una notevole emissione catodica, a meno che il valore di *R* sia sufficientemente alto per contenere l'intensità della corrente entro i limiti di sicurezza. Quanto sopra accade in quanto la griglia è molto più vicina al catodo che non la placca, la quale può essere polarizzata con tensioni molto elevate. D'altra parte, è opportuno considerare che la prova alla quale ci riferiamo non viene effettuata con le normali tensioni di lavoro in quanto si presuppone che, se il catodo è in grado di emettere una data quantità di elettroni con un basso potenziale positivo della griglia controllo, si può essere sicuri che detta emissione è sufficiente per il funzionamento della valvola in condizioni normali.

Come si vede dalla figura, il filamento viene alimentato da un secondario separato del medesimo trasformatore che fornisce la tensione di prova.

Prova della conduttanza mutua

La prova della conduttanza mutua consente il rilevare in modo più approfondito le condizioni di funzionamento delle valvole che non la prova precedentemente descritta. La conduttanza mutua, detta a volte trasconduttanza griglia-placca, è — abbiamo testè visto alla precedente lezione — il rapporto tra le variazioni della corrente di placca e le variazioni della tensione di griglia, mantenendo costanti le tensioni degli altri elettrodi. La transconduttanza, come abbiamo allora accennato, viene misurata in *mho*; tuttavia, essendo le letture generalmente di valore molto basso, si preferisce usare una unità di misura pari ad un millionesimo di mho, e precisamente il *micromho*. L'equazione che esprime tale valore, ricordiamo, è la seguente:

$$G_m = \frac{\Delta I_p}{\Delta E_g}$$

nella quale G_m è la conduttanza mutua in micromho, ΔI_p è la variazione della corrente di placca in microampère, e ΔE_g è la variazione della tensione della griglia pilota in volt. La transconduttanza viene espressa anche in mA/V.

Quando la tensione di griglia subisce una variazione di un volt in senso positivo o negativo, l'ammontare della variazione della corrente anodica in microampère equivale all'ammontare della conduttanza mutua in micromho. Ad esempio, se una valvola usata in un circuito di amplificazione ha una conduttanza mutua di 1500 micromho, una variazione della sua tensione di griglia di 1 volt positivo o negativo aumenta, o diminuisce, rispettivamente la corrente di placca di 1500 microampère. La conduttanza mutua di un triodo varia col variare della tensione di placca, della corrente di placca e della polarizzazione di griglia. In un pentodo (valvola dotata di una griglia schermo) essa è meno sensibile alla variazione della tensione di placca, ma in compenso varia notevolmente col variare della tensione di schermo, della corrente di placca e della polarizzazione di griglia.

Per valutare il grado di efficienza di una valvola, viene confrontata la conduttanza mutua indicata dallo strumento, con quella specificata dal fabbricante. Per usare quest'ultimo valore come riferimento utile ed inconfutabile, è necessario applicare agli elettrodi le medesime tensioni di placca, di schermo e di griglia, applicate dal fabbricante per ricavare le caratteristiche.

Quando la conduttanza mutua è notevolmente inferiore a quella indicata, la valvola non può amplificare in ma-

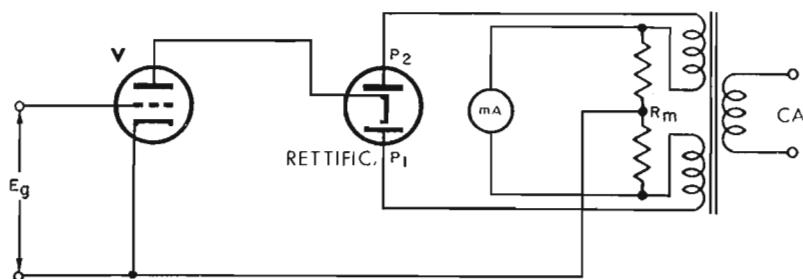



Fig. 4 — Schema di principio per la prova dinamica della conduttanza mutua. Alla griglia, oltre alla tensione di polarizzazione, viene applicato un segnale a corrente alternata.

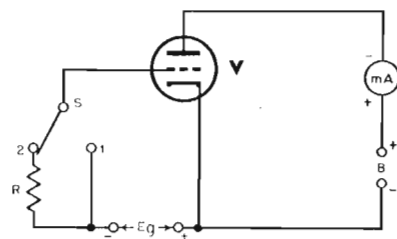



Fig. 5 — Circuito di principio per la verifica del vuoto. La resistenza R può essere o meno inserita nel circuito. Se il vuoto è scarso, essa determina un aumento di corrente anodica.

niera appropriata la tensione alternata applicata alla griglia pilota, per cui deve essere scartata.

Per valutare esattamente la conduttanza mutua, si fanno subire alla valvola due prove, e precisamente la *prova statica* e la *prova dinamica*. Nella prima, la tensione di polarizzazione di griglia viene variata, e, mediante un milliampèrometro si misura la variazione conseguente subita dalla corrente anodica, come è indicato alla **figura 3**. Con un commutatore, *S*, in posizione 1, alla griglia pilota viene applicato un potenziale negativo rispetto al catodo, e si ha un passaggio di corrente anodica. Con il commutatore posto in posizione 2, la polarizzazione negativa di griglia diminuisce per cui la corrente anodica aumenta.

Nell'uso di questo circuito per misurare il rendimento di diversi tipi di valvole termoionîche, è necessario che tanto la tensione di placca quanto quella di griglia siano regolabili, onde mettere in grado l'operatore di polarizzare gli elettrodi con le loro normali tensioni di lavoro. Dal momento che la mutua conduttanza di una valvola varia col variare della polarizzazione di griglia, lo scarto di quest'ultima rispetto al valore richiesto deve essere di piccola entità onde ottenere il valore effettivo relativo alla valvola sotto prova.

Il metodo dinamico per valutare la conduttanza mutua impiega un circuito mediante il quale è possibile applicare alla griglia pilota un segnale a corrente alternata in aggiunta alla tensione di polarizzazione a corrente continua (vedi **figura 4**). La valvola sotto prova funge da carico nei confronti del circuito rettificatore a due semionde. Il milliamperometro è collegato ai capi della resistenza R_m provvista di presa centrale, mentre il primario del trasformatore è collegato alla rete di alimentazione. Quando E_g, ossia la tensione di polarizzazione della valvola sotto prova, assume un valore determinato, il circuito funziona come un semplice rettificatore di una semionda. Quando la placca P_2 è positiva, si ha un passaggio di corrente attraverso la metà superiore della resistenza R_m, e l'indice dello strumento tende in una determinata direzione. Quando la tensione presente ai capi del secondario inverte la sua polarità ed è la placca P_1 ad essere positiva, il passaggio di corrente avviene nella metà inferiore della resistenza R_m, per cui l'indice dello strumento tende a spostarsi in direzione opposta. L'indice però non può seguire le variazioni di corrente che si verificano alla frequenza della tensione di rete, e resta perciò in posizione zero in quanto le forze che ne determinano lo spostamento sono eguali ed opposte.

Quando alla griglia pilota della valvola viene applicata una tensione alternata che si sovrappone alla tensione di polarizzazione, se la prima assume un valore positivo nel medesimo istante in cui P_2 è positiva, la corrente di placca aumenta, e la resistenza interna della valvola presente tra placca e catodo diminuisce. Dal momento che P_2 è positiva e quindi conduce, la corrente scorre nella metà superiore di R_m, ed aumenta la forza di deflessione dell'indice dello strumento. Nell'istante in cui la tensione alternata applicata alla griglia pilota assume un valore negativo, la griglia stessa acquista un potenziale maggiormente negativo, il che diminuisce la corrente anodica ed aumenta la resistenza interna. Ne consegue che la corrente che scorre nella metà inferiore di R_m diminuisce quando P_1 è positiva per cui la forza che determina la deviazione dell'indice dello strumento diminuisce a sua volta. Con correnti non bilanciate, in susseguentisi alternanze della tensione applicata alla griglia, l'indicazione dello strumento diventa proporzionale alla differenza tra le correnti, cioè allo sbilanciamento creato dalla tensione alternata applicata alla griglia, tensione che viene ricavata da un apposito avvolgimento secondario del trasformatore. Di conseguenza, lo strumento indica le variazioni della corrente anodica determinate dalle variazioni della tensione di griglia.

PROVE COMPLEMENTARI

Come abbiamo detto precedentemente, allo scopo di accertare oltre all'efficienza, eventuali difetti di una valvola termoionica, si eseguono particolari prove, come quella del vuoto, della rumorisità e dei cortocircuiti.

Quando all'interno del bulbo è presente una quantità di gas, gli elettroni emessi dal catodo urtano contro le molecole che costituiscono il gas stesso, costringendo uno o più elettroni ad uscirne. Ciò determina la presenza di ioni positivi nel gas, ossia esso si ionizza. Detti ioni, positivi, si spostano in direzione della griglia polarizzata con un potenziale negativo ed assorbono elettroni dal circuito di griglia.

Il circuito basilare usato per controllare la presenza di gas, è illustrato alla **figura 5**. Quando il commutatore *S* è in posizione 1, la corrente di placca viene letta dal mil-

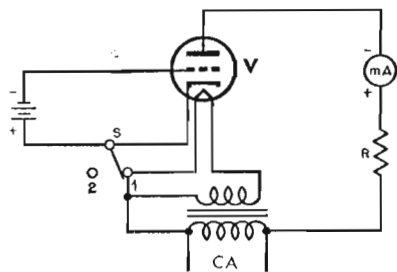



Fig. 6 — Circuito tipico per il controllo dell'isolamento tra catodo e filamento. Se esso è regolare, portando S in posizione 2 la corrente anodica deve cessare.

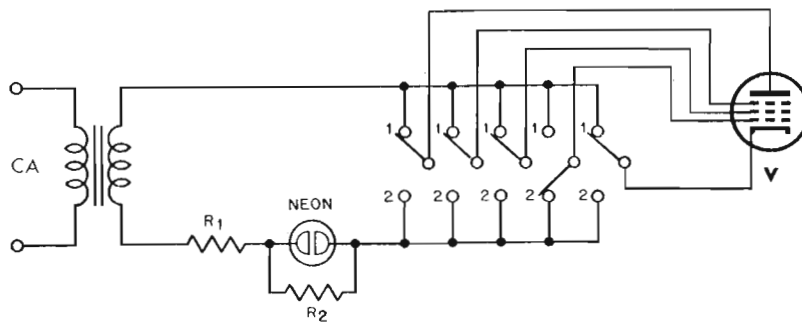



Fig. 7 — Circuito per la prova dei contatti indesiderati tra gli elettrodi. I commutatori consentono tutte le possibili combinazioni di contatto, e l'eventuale cortocircuito o dispersione è denunciata dall'accensione totale o parziale della lampada.

liamperometro collegato in serie al circuito anodico. Non appena detto commutatore viene portato in posizione 2, se all'interno della valvola si trovano molecole di gas, la corrente che si determina nel circuito di griglia causa una caduta di tensione ai capi della resistenza *R*, il che, a sua volta, provoca un aumento della corrente anodica. Se detto aumento è di piccola entità, la valvola può essere considerata normale, mentre se è di notevole entità indica un'eccessiva presenza di gas, per cui la valvola deve essere scartata.

La eventuale rumorosità di un ricevitore o di un amplificatore, può essere causata da contatti incerti tra gli elettrodi di una valvola ed i relativi circuiti, da perdita di isolamento tra catodo e filamento, o da una emissione elettronica non uniforme. Nel primo caso la percussione della valvola durante il funzionamento o durante la prova, provoca variazioni nelle distanze interelettrodiche, per cui varia in corrispondenza l'intensità dell'emissione. Questo fenomeno prende il nome di *microfonicità*, e, ripetiamo, è facilmente constatabile mediante una leggera percussione sul bulbo.

Se l'isolamento tra il catodo ed il filamento è imperfetto, può essere constatato mediante il circuito illustrato nella **figura 6**. Quando il commutatore *S* è nella sua posizione iniziale 1, lo strumento viene percorso da una corrente continua pulsante, come pure la resistenza limitatrice della corrente anodica, *R*. Quando il commutatore viene portato in posizione 2, detta corrente deve cessare completamente in quanto il circuito catodo-placca viene interrotto; se, nonostante lo spostamento del commutatore, si ha una certa indicazione da parte dello strumento, è segno che l'isolamento tra il catodo ed il filamento non è perfetto, per cui il circuito, anzichè aperto, resta parzialmente o totalmente chiuso.

Gli eventuali cortocircuiti tra gli elettrodi di una valvola possono essere causa di una corrente anodica eccessiva, di rumorosità, o di funzionamento intermittente. La **figura 7** illustra un circuito tipico atto a rivelare tale inconveniente.

Quando il commutatore si trova in posizione 2, la griglia pilota è collegata al terminale del secondario del trasformatore in serie al circuito dellà lampada al neon. Tutti gli altri elettrodi della valvola in esame vengono collegati, attraverso vari commutatori, al terminale opposto del secondario. Se la griglia pilota è in contatto con uno qualsiasi degli altri elettrodi, il circuito del secondario del trasformatore si chiude attraverso tale cortocircuito, per cui entrambi gli elettrodi della lampada danno una certa luminosità. Se invece, la griglia pilota non ha cortocircuiti, un solo elettrodo della lampada al neon denota l'incandescenza, e ciò avviene soltanto durante quella metà di un periodo del segnalè di ingresso, durante la quale la griglia è positiva rispetto al catodo. Tutti gli altri elettrodi possono subire singolarmente il controllo del cortocircuito in modo analogo. L'elemento o elettrodo sotto prova, viene collegato ad un lato del secondario, mentre tutti gli altri vengono collegati al lato opposto.

La resistenza R_1 limita la corrente che percorre la lampada al neon, al valore che essa può sopportare; la resistenza R_2 costituisce un secondo percorso per qualsiasi corrente alternata di debole entità esistente nel circuito a causa della capacità residua presente tra i collegamenti degli altri componenti dello strumento. Si evita così che la lampada al neon si illumini a causa delle correnti residue o disperse.

Capita, a volte, che due elettrodi della valvola non siano in contatto tra loro quando la valvola è spenta, mentre entrano in cortocircuito a causa della dilatazione che si verifica allorchè la valvola viene accesa. Per questo motivo è opportuno permettere sempre alla valvola sotto prova di raggiungere la sua temperatura normale di funzionamento, prima di eseguire il controllo dei cortocircuiti. Oltre a ciò, è buona norma colpire leggermente e ripetutamente la valvola durante la prova, in quanto alcuni elettrodi possono avere un collegamento incerto sia meccanico che elettrico, all'interno del bulbo, ed avere quindi tendenza a toccarsi tra loro o ad interrompere il loro circuito a causa di vibrazioni meccaniche.

Il circuito di figura 7 può servire anche per il controllo della rumorosità collegando una cuffia o un altoparlante in serie ad un condensatore da 0,1 μF ai capi della lampada al neon. In questo caso, un eventuale cortocircuito intermittente, che si verifichi troppo rapidamente per permettere alla lampada di illuminarsi, causa un rumore o un crepitio intermittente nel riproduttore sonoro, il che denucia sia la rumorosità che i difetti meccanici della valvola.

COSTRUZIONE di un PROVAVALVOLE

LE SCATOLE di MONTAGGIO

Il lettore che ritiene doversi munire di un apparecchio di misura e di controllo ha, come al solito, due vie: o acquistare il complesso già montato e funzionante, o costruire da se stesso l'assieme in seguito a considerazioni di ordine tecnico ed economico, nonchè per un ben noto senso di amor proprio e soddisfazione tecnica derivante dal lavoro eseguito. In quest'ultimo caso però sorge — per quella e per tutte le eventuali ulteriori costruzioni — un problema: l'apparecchio finito potrà essere pari nei risultati e nell'estetica ad un complesso del commercio? Una risposta a questa più che naturale domanda può essere affermativa solo se la scelta dello schema si orienta su complessi che l'esperienza ha collaudati come idonei a costruzioni singole, non solo, ma anche se il materiale è, in certo qual modo, armonizzante, vale a dire ogni organo è selezionato per svolgere in unione agli altri la sua funzione in modo tecnicamente perfetto.

Stante questa premessa riteniamo che — per un logico concetto di serietà — da parte nostra debbano essere presentate solo apparecchiature che rispondano in pieno alle esigenze testè enunciate. Così abbiamo fatto nei riguardi di due « tester », così faremo per ciò che si riferisce alle future apparecchiature da descrivere, iniziando appunto da questo provavalvole.

La descrizione, per questo complesso non sarà molto dettagliata nei riferimenti della fase costruttiva: ciò è dovuto al fatto che tutto l'assieme del materiale è reperibile in commercio sotto forma di scatola di montaggio corredata da numerosi e chiari disegni che si riferiscono a tale parte del lavoro.

La forma della « scatola di montaggio » rappresenta la soluzione moderna e più idonea per soddisfare le premesse alle quali si è fatto cenno. Costruendo con tale metodo si è certi di avere, a lavoro terminato, un complesso di aspetto e risultato pari alle apparecchiature correnti del commercio. Il lavoro meccanico, la finitura, lo studio della disposizione delle parti e molti altri problemi non preoccupano più: lo strumento ciò nonostante viene ad essere opportunamente conosciuto dal suo costruttore in ogni sua particolarità e, in definitiva, viene ad essere realizzato quel vantaggio economico che è molto spesso il fattore predominante.

Passiamo ora all'esame di un assieme del genere; il primo di una completa serie di apparecchiature di misura che descriveremo. Il suo aspetto nonchè i dati tecnici riassuntivi sono riportati sulla copertina di questo stesso fascicolo.

IL PROVAVALVOLE « T C 3 »

Se l'attività del radiotecnico deve espletarsi principalmente nel ramo delle riparazioni e della vendita, certamente un provavalvole costituisce un'apparecchiatura di reale interesse. È appunto in questo impiego, più che in ogni altro, che l'essere attrezzato per verificare rapidamente lo stato di una valvola può rivelare una pratica utilità ed un conseguente utile economico.

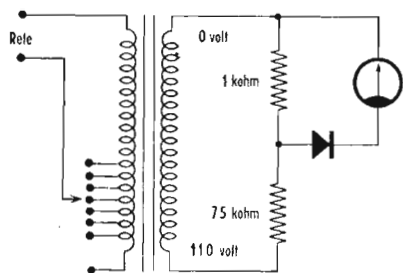
Sotto questo punto di vista, il provavalvole più pratico e di più facile realizzazione è quello che consente la prova dell'emissione catodica: se è pur vero che la prova della conduttanza mutua offre una assai più precisa valutazione, deve essere considerato il fatto che lo scopo dell'apparecchio si limita — per ovvie ragioni — ad una indicazione pratica e veloce. Quando questa indicazione precisa se la valvola (indipendentemente da gravi difetti di struttura che vengono accertati a parte) offre una emissione sufficiente oppure scarsa, è ovvio che ulteriori controlli esulano dal campo della corrente riparazione.

Col « TC 3 » (tale è la denominazione con la quale la Casa costruttrice del materiale lo identifica) può essere provato, praticamente, qualsiasi tipo di valvola, grazie alla studiata scelta degli zoccoli ed alla varietà delle tensioni disponibili per i filamenti. Contribuisce alla elasticità di impiego la possibilità di variare la sensibilità dello strumento ed infine la presenza di molteplici dispositivi di commutazione. Vi figurano dieci commutatori a levetta che consentono il collegamento di un qualsiasi elettrodo ad un altro elettrodo, indipendentemente dalla posizione dei relativi piedini. Una comoda soluzione è stata adottata per quanto riguarda la necessaria tabella di riferimento: essa è avvolta su di un tamburo rotante ed un particolare dispositivo consente un ampia visibilità di tutta la superficie interessata.

Conoscendo le caratteristiche di qualsiasi valvola (i dati in questione vengono forniti normalmente dal costruttore delle valvole), purchè la stessa possa essere inserita in uno degli zoccoli presenti sul pannello, si ha modo di eseguire il controllo. Oltre agli zoccoli previsti per tutti i tipi di valvole correnti, è disponibile uno zoccolo che si può definire di riserva, nel senso che in suo luogo si può adottare in futuro uno zoccolo particolare che si rendesse necessario in conseguenza della comparsa di un tipo di valvola differente dai tipi attualmente in uso.

Il trasformatore per l'accensione del filamento della valvola sotto prova presenta 19 differenti tensioni, che vengono scelte a seconda delle necessità mediante un commutatore. Il trasformatore fornisce inoltre tre diverse tensioni di prova, e precisamente: 30, 100 e 250 volt. A seconda dei controlli che debbono essere effettuati si ha una commutazione dall'una all'altra di tali tensioni: vengono attuati tre circuiti basilari, e precisamente, un circuito per il

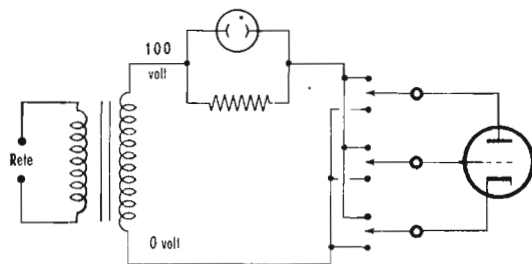
Controllo della tensione di rete

Si ottiene con esso una messa a punto nei confronti della tensione disponibile di rete. Lo schema di **figura 1** illustra questo circuito e si può vedere in esso un commutatore sul primario, che varia il numero delle spire incluse, controllando in tal modo la tensione presente ai capi dei secondari. Quest'ultima, viene letta (opportunamente rettificata) ai capi di un secondario, dallo strumento (previa interposizione del partitore resistivo 1.000-75.000 ohm), al fine di far coincidere l'indice dello strumento

— Figura 1 —

— Figura 3 —

stesso su un apposito contrassegno segnato « line test » (controllo rete). Scopo evidente di questo controllo è di garantire che alla valvola sotto prova vengano applicate le tensioni esatte, rendendo minime le possibilità di un errore di lettura dovuto alla presenza di tensioni troppo alte o troppo basse. Il secondo circuito a mezzo di commutatori predispone il

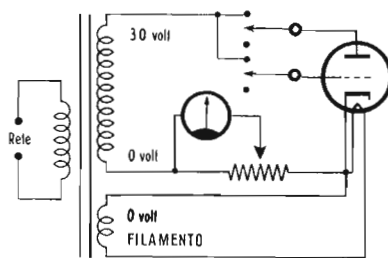
Controllo dei cortocircuiti

Con questa sistemazione circuitale vengono accertati contatti dannosi all'interno della valvola, perdite di isolamento, e viene controllata la continuità del filamento. La **figura 2** illustra questa disposizione. La lampada al neon funge da indicatrice, così come si è già visto nelle pagine precedenti. Lo strumento in questo caso è escluso dal circuito. La resistenza in parallelo alla lampada al neon — allorchè si è in presenza di un cortocircuito nella valvola — provoca l'accensione della lampada in seguito alla caduta di tensione che tale resistenza determina. Aumentando il valore della resistenza in oggetto si aumenta la sensibilità del dispositivo per cui in questo caso si effettuano misure di dispersione. Valori sino a

— Figura 2 —

250.000 ohm di resistenza provocano l'accensione della lampada al neon nella prima disposizione, mentre per la prova di dispersione l'accensione è provocata da valori sino a 2 Megaohm. In quest'ultimo caso occorre tener presente l'ammontare delle dispersioni che in realtà possono essere tollerate nel circuito di impiego della valvola sotto prova.

Il terzo circuito predisposto è relativo alla

Prova del rendimento

La placca e la griglia vengono collegate assieme alla presa del trasformatore che fornisce la tensione di 30 volt (**figura 3**). Il filamento ed il catodo sono a loro volta collegati assieme all'altra presa dell'avvolgimento secondario, tramite un potenziometro (« plate control ») il cui compito è di regolare la sensibilità dello strumento che, in questo caso, è presente nel circuito. La valvola sotto prova si comporta come rettificatrice di una semionda e tutta la corrente emessa dal catodo viene trasferita ad un unico terminale (anodo) attraverso il quale prosegue alla volta dello strumento.

Una valvola buona, allorchè la sensibilità dello strumento è adeguata, denoterà una emissione (ossia una corrente catodica) sufficiente affinchè l'indice dello strumento si porti nella zona contrassegnata « good » (buona) della scala. Se l'emissione è bassa, l'indice si fermerà nella posizione centrale o di sinistra, contrassegnate dalla dicitura « bad » (esaurita).

Poichè tutti gli elettrodi (ad eccezione del catodo) sono collegati assieme alla placca, se uno di essi viene staccato elettricamente ne consegue una diminuzione di corrente anodica. Nel caso in cui, in seguito a questa operazione non si verifichi tale diminuzione, si può dedurre che l'elettrodo in questione presenta una interruzione col suo collegamento esterno. Su di ciò si basa appunto la verifica della continuità di collegamento degli elettrodi. Per alcuni tipi di valvole a gas (ad esempio OZ4, ecc.) viene usata la presa del secondario a 250 volt in luogo di quella a 30 volt.

Uso dell'apparecchio

Il funzionamento di qualsiasi strumento di misura dipende in gran parte dalla abilità dell'operatore, nonchè dalla sua attitudine ad interpretare e a valutare le informazioni fornite dallo strumento stesso. Verrà seguita la procedura qui riportata.

1) Si sposti la tabella a tamburo sino a portate in evidenza i dati relativi alla valvola da provare. Si inserisca la spina di rete (mediante trasformatore di adattamento se la tensione disponibile è superiore ai 120 volt) e si regoli il « controllo rete » sino a portare l'indice dello strumento in posizione centrale.

2) Spostare il commutatore « type » sul numero indicato dalla tabella.

3) Spostare il commutatore « filament » sulla tensione necessaria che è indicata dalla tabella.

4) Regolare il controllo « plate » in conformità a quanto specificato dalla tabella.

5) Predisporre i commutatori a leva nella posizione « T » (« top » = alto) oppure « B » (« bottom » = basso) come indicato nelle relative colonne della tabella.

6) Inserire la valvola nello zoccolo relativo.

7) Controllare la presenza di eventuali cortocircuiti interni alla valvola, spostando i commutatori a leva nelle due posizioni e facendoli tornare nella posizione stabilita dalla tabella. Il selettore sarà su « short » (cortocircuito): anche il commutatore riferito a « short »-« leakage » sarà

— Figura 4 —

in posizione « short ». La lampada al neon indicherà eventuali cortocircuiti: l'accensione deve essere però costante e non costituita da un solo impulso.

8) Ripetere le operazioni di cui sopra ma con il commutatore apposito su « leakage ».

9) Dopo circa 30" dalla accensione, effettuare la prova del rendimento col commutatore in posizione « test ».

10) Per il controllo delle eventuali interruzioni, lasciando sempre su « test », spostare in basso tutti i commutatori a leva e riportarli poi verso l'alto. Ad ogni commutazione deve corrispondere una diminuzione della corrente.

11) Per controllare il filamento, le eventuali prese intermedie dello stesso, e la continuità interna, si porti la manopola contrassegnata « filament » sulla posizione 0,63 V. Spostare tutti i commutatori scuri ciascuno attraverso le altre due posizioni, muovendone uno alla volta. Se il filamento è in buone condizioni, come pure le eventuali prese ed i collegamenti interni, ciò sarà denunciato da una notevole luminosità della lampada al neon.

SIMBOLI - ABBREVIAZIONI

C_{gp} = Capacità tra griglia e placca
C_{gk} = Capacità tra griglia e catodo
C_{pk} = Capacità tra placca e catodo
E_a = Alimentazione per accensione filamento
E_b = Alimentazione anodica (di placca)
E_c = Tensione di polarizzazione
E_g = Tensione di griglia
g_m (a volte G_m) = Conduttanza mutua
I_c = Corrente di griglia
I_g = Corrente di griglia
R_c = Resistenza di carico
R_L = Resistenza di carico
R_p = Resistenza di placca (statica o dinamica)
Δ = Lettera greca « delta ». Piccola variazione in più o in meno di una quantità qualsiasi.
ΔE_g = Variazione della tensione di griglia
ΔE_p = Variazione della tensione di placca
ΔI_p = Variazione della corrente di placca
μ = Fattore (coefficiente) di amplificazione

FORMULE

$$\mu = \frac{\Delta E_p}{\Delta E_g} \quad (I_p \text{ costante})$$

$$g_m = \frac{\Delta I_p}{\Delta E_g} \quad (E_p \text{ costante})$$

$$R_p = \frac{\Delta E_p}{\Delta I_p} \quad (E_g \text{ costante}) = \text{Resistenza dinamica di placca}$$

$$R_p = \frac{E_p}{I_p} = \text{Resistenza statica di placca}$$

$$R_p = \mu : g_m$$

$$\mu = g_m \times R_p$$

$$g_m = \mu : R_p$$

SEGNI SCHEMATICI

 = Griglia di una valvola

 = Triodo ad accensione diretta

 = Triodo ad accensione indiretta

DOMANDE sulle LEZIONI 46ª e 47ª

N. 1 —
Quale è, in un triodo, il compito della griglia?

N. 2 —
Come si chiama la tensione di griglia che provoca la cessazione della corrente anodica?

N. 3 —
È possibile aumentare a piacere la corrente anodica di un triodo?

N. 4 —
In quale modo viene definito il coefficiente di amplificazione di una valvola?

N. 5 —
Per quale motivo si cerca di far funzionare una valvola lungo il tratto rettilineo della sua curva caratteristica?

N. 6 —
Nella figura 12 della lezione 46ª, se la resistenza di carico è di 100.000 ohm, la tensione di alimentazione è di 300 volt, e la polarizzazione di griglia è di —3 volt, applicando un segnale di ingresso alternato avente una d.d.p. di 2 volt tra picco e picco, entro quali limiti varia la tensione di placca? A quanto ammonta il coefficiente di amplificazione?

N. 7 —
Cosa si intende per « conduttanza mutua »?

N. 8 —
Per quale motivo tra le variazioni della tensione di griglia, e le variazioni della tensione di placca corrispondenti esiste uno sfasamento di 180°?

N. 9 —
In quanti modi è possibile polarizzare la griglia di un triodo?

N. 10 —
In quale modo si determina il valore della resistenza presente in serie al catodo, in un triodo ad accensione indiretta?

N. 11 —
Come è possibile evitare la presenza di tensione alternata sulla griglia di un triodo ad accensione diretta, se il filamento viene acceso proprio con tensione alternata?

N. 12 —
Quanti sistemi esistono per la prova di una valvola?

N. 13 —
In quale modo si effettua, in una valvola, il controllo del vuoto?

N. 14 —
Per quale motivo la prova dei corto-circuiti interni di una valvola non può essere effettuata con un comune ohmetro, verificando la continuità tra le coppie di piedini?

N. 15 —
Perchè una valvola può non essere buona, pur avendo il filamento funzionante e pur non denotando alcun difetto interno nè di contatto nè di corto circuito?

N. 16 —
È possibile conoscere il valore della corrente anodica senza l'uso di un milliampèrometro?

RISPOSTE alle DOMANDE di Pag. 353

N. 1 — L'uscita di elettroni dal catodo. Essi se ne allontanano velocemente se vengono attratti da una carica positiva.

N. 2 — L'incandescenza, la quale aumenta la velocità di rotazione degli elettroni, e ne provoca l'allontanamento dagli atomi cui appartengono per forza centrifuga.

N. 3 — Esso ha il compito di emettere elettroni, ossia agisce da catodo. In una valvola a riscaldamento indiretto ha invece il solo compito di rendere incandescente il catodo.

N. 4 — Perchè, essendo minima la distanza, una tensione eccessiva potrebbe causare un corto circuito. Esistono però valvole speciali appositamente costruite, nelle quali detta differenza di potenziale può raggiungere valori elevati.

N. 5 — Gli elettroni che gravitano intorno al catodo.

N. 6 — Quattro tipi principali: semplici, a riscaldamento diretto ed indiretto, e doppi, anch'essi a riscaldamento diretto o indiretto.

N. 7 — Perchè consente il passaggio della corrente in una unica direzione, ossia dal catodo (o filamento) alla placca.

N. 8 — Le « pulsazioni continue » sono intervallate da istanti in cui la tensione manca nel primo caso; sono invece immediatamente successive nel secondo.

N. 9 — Se la tensione è inferiore l'emissione elettronica diminuisce, se invece è superiore essa aumenta, col pericolo però di bruciare il filamento.

N. 10 — Perchè i rettificatori metallici eliminano la necessità di disporre di sorgenti di tensione separate o comunque bene isolate per l'accensione dei filamenti.

N. 11 — La tensione alternata da rettificare è doppia della tensione continua disponibile in uscita.

N. 12 — Perchè la corrente di uscita, pur essendo pulsante, non è intervallata da periodi di assenza durante la fase di non conduzione da parte di uno dei diodi.

N. 13 — Mediante l'applicazione di un « filtro ».

N. 14 — Negli istanti in cui la tensione viene a mancare, esso restituisce buona parte della carica ricevuta, mantenendo costante la corrente.

N. 15 — Per proteggerli del pericolo di scarica attraverso il dielettrico negli istanti in cui la tensione applicata è particolarmente elevata, specie se manca il carico.

N. 16 — Consentire il passaggio della corrente continua, offrendo invece una resistenza elevata alla componente alternata dovuta alle ondulazioni del valore di picco. In tal modo essa contribuisce a rendere continua, ossia a livellare, una corrente pulsante.

N. 17 — La tensione presente ai capi del o dei condensatori di filtro aumenta notevolmente. Ciò è alquanto pericoloso, a meno che non esistano resistenze di protezione collegate in parallelo.

N. 18 — Mediante l'applicazione di un partitore di tensione costituito da resistenze opportunamente calcolate.

La tabella 63 raggruppa le più comuni potenze del numero 10, ed i relativi valori numerici, sia con esponente positivo che negativo. La sua utilità si rivela, ad esempio, nella trasformazione in microampère di un valore espresso in ampère, e deve essere tenuta presente specie per l'argomento che quì di seguito viene considerato, ma non deve impedire al lettore di imparare ad effettuare il calcolo da sè.

TABELLA 63 — VALORI delle POTENZE di 10

POTENZA	VALORE	POTENZA	VALORE
10^{-6}	0,000001	10^{7}	10
10^{-5}	0,00001	10^{6}	100
10^{-4}	0,0001	10^{5}	1.000
10^{-3}	0,001	10^{4}	10.000
10^{-2}	0,01	10^{3}	100.000
10^{-1}	0,1	10^{2}	1.000.000
10^{0}	0	10^{1}	10.000.000

I LOGARITMI

A pagina 7 (lezione 1ª) abbiamo ritenuto opportuno chiarire — con alcune brevi note — il concetto di « potenza » intesa in senso matematico. Ciò perchè la sua applicazione ricorre sovente nei calcoli relativi all'elettronica, per quanto semplici essi siano.

Al punto al quale siamo giunti, per consentire a coloro che non hanno in questo campo sufficienti cognizioni, di comprendere ed assimilare il significato dell'unità di misura con la quale si valuta l'amplificazione o l'attenuazione di un segnale, è necessario dedicare un po' dello spazio disponibile ai logaritmi. Sulla loro applicazione si basano infatti varie operazioni matematiche che sarebbero altrimenti difficili — se non impossibili — da risolvere.

Non intendiamo con questo imporre al lettore lo studio di una parte della matematica come condizione « sine qua non » per diventare un buon radiotecnico: specifichiamo però che, mediante l'attenta lettura di queste poche pagine, è possibile acquisire quelle nozioni che potranno facilitare notevolmente la comprensione di concetti più complessi, la cui conoscenza è invece indispensabile.

L'amplificazione e l'attenuazione — infatti — due fenomeni strettamente legati al funzionamento delle valvole e dei transistori, vengono entrambe misurate in **decibel**. Questa unità di misura è — come vedremo in seguito — fondata appunto sui logaritmi. Sebbene tale unità di misura possa essere impiegata anche senza la conoscenza matematica dei logaritmi, è tuttavia di estrema utilità conoscerli e saperli applicare, specie per il fatto che consentono calcoli relativamente semplici ed abbastanza precisi.

A questo punto occorre fare una considerazione. Molte delle operazioni che esporremo qui di seguito come esempio di applicazione dei logaritmi, possono essere svolte, in realtà, anche più semplicemente con la sola aritmetica. I logaritmi diventano però utilissimi nel calcolo di po-

tenze con esponenti elevati e con basi di diverse cifre.

Abbiamo chiarito, a suo tempo, il significato di potenza, ed il valore di un esponente; è facile comprendere, sapendo ciò, cosa sia un logaritmo: infatti, **il logaritmo di una quantità è l'esponente al quale un dato numero deve essere elevato al fine di ottenere la quantità stessa.**

Per maggiore chiarezza ricorriamo ad un esempio: sappiamo che l'espressione 3^2 (3 « alla seconda » o « al quadrato ») equivale a 9. Ciò significa che 2 è l'esponente che dobbiamo dare al numero 3 per ottenere la quantità 9.

Dal punto di vista logaritmo, si dice che il **« logaritmo » di 9 « in base » 3 è 2**, e si scrive $\log_3 9=2$.

Da ciò apprendiamo che i logaritmi sono sempre riferiti ad una certa **base**: quest'ultima rappresenta la base di una potenza che, elevata ad un esponente pari al logaritmo, dà per risultato la quantità considerata.

Qualsiasi numero positivo, purchè maggiore di 1, può essere preso come base. Per motivi sui quali non riteniamo opportuno dilungarci, sono stati presi due numeri particolari, dai quali derivano due sistemi di logaritmi che — praticamente — si equivalgono.

Uno di essi è rappresentato simbolicamente dalla lettera greca « ε » (leggi « epsilon »), il cui valore approssimativo è 2,718, e l'altro è il numero 10.

Tutti i logaritmi aventi come base ε sono detti « naturali », mentre quelli aventi base 10 sono detti « decimali » o « comuni ».

Quando in una espressione logaritmica non è indicata la base, si intende che essa è 10. Ad esempio, l'espressione « log 1.000=3 » rappresenta un logaritmo decimale, e significa che 3 è l'esponente che si deve dare alla base 10 (sottintesa) per ottenere 1.000: infatti $10^3 = 1.000$.

I logaritmi comuni o decimali sono le potenze esatte ed integre del numero 10, delle quali abbiamo pubblicato una tabella riassuntiva a pagina 378, per cui si ha:

$$\log 0{,}001 = -3 \text{ in quanto } 0{,}001 = 10^{-3}$$
$$\log 0{,}01 = -2 \text{ in quanto } 0{,}01 = 10^{-2}$$
$$\log 0{,}1 = -1 \text{ in quanto } 0{,}1 = 10^{-1}$$
$$\log 1 = 0 \text{ in quanto } 0 = 10^{0}$$
$$\log 10 = 1 \text{ in quanto } 10 = 10^{1}$$
$$\log 100 = 2 \text{ in quanto } 100 = 10^{2}$$
$$\log 1.000 = 3 \text{ in quanto } 1.000 = 10^{3}$$

e così via.

Come si nota, il logaritmo di un numero pari ad una potenza esatta di 10, ossia pari ad una potenza avente la base 10 ed un esponente qualsiasi, sia positivo che negativo, può essere calcolato molto semplicemente valutando gli « zeri » che seguono il numero 1, o il numero delle cifre presenti dopo la virgola, nel caso si tratti di un numero decimale.

Ad esempio, il logaritmo di 0,000001 è pari a —6. Sei, in quanto tale è il numero delle cifre che seguono la virgola (5 zeri ed il numero 1), e negativo in quanto si tratta di un numero inferiore all'unità. Per contro, il logaritmo di 100.000 è 5: tale è infatti il numero degli zeri che seguono l'unità, ed è positivo perchè si tratta di un numero non decimale, ossia una potenza esatta di 10, maggiore di 1.

Da ciò possiamo dedurre la prima regola: **il logaritmo di un numero minore di 1 è negativo, e quello di un numero maggiore di 1 è positivo.**

Per i numeri — invece — che non sono una potenza esatta di 10, il logaritmo consta di due parti, e precisamente di una parte intera e di una decimale: la prima, che figura a sinistra della virgola, si chiama **caratteristica**, e la seconda, posta invece a destra della virgola, si chiama **mantissa.**

Determinazione della « caratteristica »

A differenza del calcolo del logaritmo di una potenza esatta di 10, il calcolo del logaritmo di un numero qualsiasi viene effettuato in un modo più complesso.

1) La « caratteristica » del logaritmo di un numero che non coincide con una potenza esatta di 10, ma che è maggiore di 1, è sempre **positiva**, ed è pari al numero delle cifre che si trovano a sinistra della virgola, diminuito di 1.
   Ad esempio, nel numero 59,5 abbiamo due cifre a sinistra della virgola, e precisamente un 5 ed un 9; poichè 2 — 1=1, la « caratteristica » del logaritmo di 59,5 è 1. Se il numero è 5,95, abbiamo una sola cifra a sinistra della virgola, ossia soltanto il numero 5; in tal caso 1 — 1=0, per cui la « caratteristica » del logaritmo di 5,95 è 0. Nel numero 595 — invece — (che può essere scritto indifferentemente 595,0, in quanto ciò non ne altera il valore), abbiamo 3 cifre a sinistra della virgola, per cui la « caratteristica » del suo logaritmo è 2.

2) La « caratteristica » del logaritmo di un numero che non coincide con una potenza esatta di 10, e che è minore di 1, è **negativa**, ed è pari al numero degli zeri che si trovano a destra della virgola, aumentato di una unità.
   Ad esempio, nel numero 0,0595, alla destra della virgola figura un solo zero, e poichè 1+1=2, la « caratteristica » del suo logaritmo è —2. Se il numero fosse stato 0,000595, avremmo avuto tre zeri a destra della virgola, per cui la « caratteristica » sarebbe stata 3+1=4, ossia —4. Nel numero 0,595 — invece — non figurano zeri a destra della virgola, e poichè 0+1=1, la « caratteristica » del logaritmo è —1.

Una importante particolarità della « caratteristica » dei logaritmi di numeri inferiori all'unità, è che la relativa « caratteristica », pur essendo negativa, non deve essere preceduta dal segno —. Infatti, come vedremo tra breve, la parte negativa è soltanto la « caratteristica », e non l'intero logaritmo compresa la mantissa.

Esistono due metodi distinti per contrassegnare una « caratteristica » negativa. Uno consiste nel riportare il segno — non a sinistra, bensì sopra al numero o ai numeri costituenti la « caratteristica » (ad esempio $\bar{3}$ per indicare —3). Dell'altro metodo ci occuperemo tra breve.

Determinazione della « mantissa »

La matissa è — ripetiamo — la parte di un logaritmo che si trova a destra della virgola. Essa può essere calcolata soltanto mediante le **tavole logaritmiche**. Dette tavole richiedono un certo numero di pagine, e — per esigenze di spazio — non ci è possibile pubblicarle. Possono però essere acquistate ad un prezzo molto modesto presso qualsiasi libreria, e sono generalmente accompagnate da istruzioni sull'impiego relativo.

La prima regola da considerare per il calcolo della mantissa, è che il suo valore è assolutamente indipendente dalla posizione della virgola (che può essere ignorata) nel numero di cui si desidera calcolare il logaritmo. Come vedremo tra breve, la mantissa di 595 è 0,7745 e tale è anche la mantissa di 59,5 o di 5,95. Dal momento che il logaritmo è composto da una « caratteristica » e da una mantissa, ciò che costituisce la differenza tra i due numeri ora citati è la « caratteristica », che equivale a 2 nel primo caso ora citato, a 1 nel secondo ed a 0 nel terzo.

Dopo aver determinato la « caratteristica » del numero del quale si desidera trovare il logaritmo (nel modo precedentemente illustrato), si ricava dunque la mantissa dalle tavole logaritmiche. Le mantisse riportate sulle tavole costituiscono la parte decimale del logaritmo ed in quest'ultimo devono essere, pertanto, precedute dalla virgola.

A questo punto, è bene chiarire che esistono tavole logaritmiche a 4 ed a 5 decimali. Ovviamente, le seconde sono più esatte delle prime, per cui le istruzioni che qui riportiamo si riferiscono ad esse.

Generalmente le tavole hanno inzio con una prima parte, nella quale sono elencati i numeri compresi tra 1 e 99 (10 e 100 sono esclusi in quanto potenze esatte di 10). Questa prima parte facilita il calcolo di un logaritmo nel quale, eliminati gli zeri e la virgola, che servono per la determinazione della « caratteristica », non rimangono che una o due cifre significative.

Supponiamo di dover calcolare il logaritmo di 38 (che può essere considerato 38,0). Il numero è certamente maggiore di 1, per cui la « caratteristica » è senz'altro positiva, ed è data da, 2 cifre — 1 = 1. Oltre a ciò, le cifre significative sono due, e precisamente il 3 e l'8. La mantissa del numero 38 è 0,57978; di conseguenza possiamo scrivere:

$$\log 38 = 1{,}57978$$

Supponiamo ora di dover calcolare il logaritmo del numero 0,0038. Esso è certamente minore di 1, per cui la « caratteristica » è senz'altro negativa. Come sappiamo, essa è pari a 2 zeri + 1 = 3, ossia —3. Ciò fatto, le cifre significative (a parte gli zeri e la posizione della virgola, che non ci interessano più) sono ancora due, e precisamente il 3 e l'8. La mantissa è dunque ancora la medesima, per cui possiamo scrivere:

$$\log 0{,}0038 = \bar{3}{,}57978$$

Una volta chiarito il concetto di mantissa, possiamo illustrare il secondo metodo col quale si può esprimere una « caratteristica » negativa.

Il primo è quello che abbiamo ora impiegato. Il secondo consiste nel sommare alla « caratteristica » negativa il numero 10, rendendola così positiva, e nel sottrarre poi il numero 10 dall'intero logaritmo. In altre parole, l'espressione sopra riportata può essere scritta anche come segue:

$$\log 0{,}0038 = 7{,}57978 - 10$$

Vediamo ora come si determina — a mezzo delle tavole — la mantissa di un logaritmo nel cui numero originale figurano tre cifre significative.

Le tavole con cinque decimali constano di una colonna, generalmente contrassegnata « N », nella quale sono elencati i numeri progressivi da 100 a 999, e di 10 colonne secondarie contrassegnate da 0 a 9. Le tre cifre significative devono essere individuate, nell'ordine in cui si trovano nel numero originale, nella colonna « N ». In corrispondenza di tale numero, nella colonna contrassegnata « 0 » immediatamente affiancata, si trova la mantissa. Essa consta di 5 numeri, di cui i primi due elencati a parte, e gli altri tre incolonnati alla loro destra.

Ad esempio, supponiamo di dover trovare il logaritmo dei numeri 256 (ossia 256,0) - 25,6 - 2,56 e 0,00256. Determinando la « caratteristica » nel modo consueto, e cercando la mantissa nelle tavole, in corrispondenza del numero 256 (costante in tutti e quattro i casi, in quanto tali sono le cifre significative del numero, indipendentemente dalla virgola e dagli zeri ai quali ci riferiamo solo nei confronti della « caratteristica » stessa), abbiamo:

$$\log 256 = 2{,}40824$$
$$\log 25{,}6 = 1{,}40824$$
$$\log 2{,}56 = 0{,}40824$$
$$\log 0{,}00256 = \bar{3}{,}40824 \text{ oppure } 7{,}40824 - 10$$

Come si vede, la mantissa è la medesima in tutti i logaritmi, in quanto riferita alle sole cifre significative, mentre ciò che varia è la sola « caratteristica ».

Nei confronti della colonna « 0 », è opportuno rilevare che la colonna delle prime due cifre, intervallata da spazi vuoti, deve essere sempre considerata **dall'alto in basso,** e che ogni coppia di detti numeri si accompagna a tutti i gruppi di tre cifre riportati a destra (nelle varie colonne), finchè non viene sostituita da un'altra coppia.

Ad esempio, la mantissa del numero 252 è ,40140; per il numero successivo, ossia 253, è ancora valida la coppia di numeri 40, e ad essa si accompagna il gruppo di tre cifre corrispondente al 253, ossia 312. Di conseguenza, la mantissa di 253 sarà ,40312. La coppia « 40 » deve essere considerata fino al numero progressivo 257, la cui mantissa è ,40993, mentre a partire dal numero 258, fino al 263 compreso, la mantissa avrà come primi due numeri la coppia 41, abbinata al gruppo di tre cifre corrispondente al numero considerato.

La ricerca della mantissa del logaritmo di un numero avente quattro ciifre significative è altrettanto semplice. Le prime tre cifre, considerate nell'ordine in cui si trovano, devono essere individuate nella colonna « N », mentre la quarta cifra, che può essere compresa tra 1 e 9, è riferita alle colonne affiancate, e contrassegnate appunto con tali numeri. Una volta trovate le prime tre, si segue la linea orizzontale corrispondente, verso destra, fino ad incontrare il gruppo di tre cifre presente nella colonna contrassegnata con la quarta cifra significativa.

Ad esempio, dovendo determinare la mantissa di 1569, si cerca nella colonna « N » il numero 156, e si prosegue sulla medesima riga orizzontale fino ad incontrare il gruppo di tre cifre presente nella colonna « 9 ». I primi due numeri (coppie separate) della colonna « 0 » costituiscono sempre i primi due della mantissa, ai quali fanno seguito i tre numeri della colonna laterale. Nel nostro caso la mantissa è ,19562.

A questo punto si presenta un'altra regola. Può accadere che nel gruppo di tre cifre della colonna laterale (corrispondente alla quarta cifra significativa), sia presente un trattino orizzontale sopra alla prima di esse, analogo a quello che si riporta sulla « caratteristica » per

renderla negativa. Esso significa che nella mantissa, la prima coppia di cifre da considerare nella colonna « 0 » non è la precedente, bensì la successiva.

Si debba — *ad esempio* — trovare la mantissa del numero 4268. Come è noto, si cerca nella colonna « N » il numero 426, al quale, nella colonna « 0 » dovrebbe corrispondere la prima coppia 62. Si prosegue poi verso destra fino ad incontrare il gruppo di tre cifre nella colonna « 8 ». Tale gruppo è appunto $\overline{0}22$. Ciò significa che la prima coppia di numeri non è 62, bensì 63; la mantissa è dunque ,63022.

Esempi: si calcolino i logaritmi dei numeri seguenti: 3458 - 280,4 - 3,567 e 0,4787. Applicando le regole enunciate abbiamo:

log 3458 = 3,53882
log 280,4 = 2,44778
log 3,567 = 0,55230
log 0,4787 = $\overline{1}$,68006 oppure 9,68006 —10

In quest'ultimo caso la prima coppia di numeri della mantissa è 68 anzichè 67, a causa del trattino presente nel gruppo di tre cifre della colonna « 7 ».

La mantissa del logaritmo di un numero costituito da cinque cifre significative può essere calcolata in un modo leggermente più complesso, e precisamente mediante un metodo detto di « interpolazione ».

La progressione dei logaritmi non è « lineare », in quanto, rappresentando la differenza tra due valori con un segmento di data lunghezza, la metà di detta differenza non corrisponde al centro del segmento stesso. Tuttavia, trattandosi di una quinta cifra decimale, la « non linearità » determina differenze talmente trascurabili che, agli effetti pratici, la progressione dei numeri può essere considerata lineare.

Per questo motivo, si approssima il numero di 5 cifre significative al numero immediatamete inferiore terminante con 0, ottenendo così un numero di quattro cifre significative, e si somma al logaritmo la differenza ricavata da una tavola redatta a parte, presente su ogni pagina delle tavole logaritmiche. Si tratta di tavole secondarie che riportano il logaritmo della differenza (D) omessa per comodità di calcolo.

Esempio: si calcoli il logaritmo del numero 47,328. Detto numero è compreso tra 47,320 e 47,330. La caratteristica del logaritmo è, come ben sappiamo, 1. Ciò stabilito, si cerca nella colonna « N » il numero 473, e si prosegue come se si dovesse calcolare il logaritmo di 47,320, fino cioè alla colonna « 2 ». Si ha pertanto che

log 47,320 = 1,67504

Il logaritmo del numero di quattro cifre significative immediatamente superiore, ossia di 47,330, è

log 47,330 = 1,67514

La differenza « D » tra detti due logaritmi (ossia tra i due gruppi finali di tre cifre ciascuno) è 514 — 504 = 10. Una volta individuato quest'ultimo valore nella tabella allegata alla pagina delle tavole su cui sono stati calcolati i due logaritmi approssimati, si segue la linea orizzontale relativa fino ad incontrare la colonna « 8 » corrispondente al numero che è stato trascurato all'inizio (abbiamo infatti considerato il log. di 47,320 invece che di 47,328). In corrispondenza della differenza 10 (D) troviamo nella colonna « 8 » il numero 8,0 che andrà aggiunto al logaritmo di 47,320 per avere quello di 47,328 con sufficiente approssimazione. Di conseguenza:

log 47,328 = 1,67504 +
8,0
———
= 1,67512

(La parte decimale della differenza viene trascurata di proposito, per cui si somma soltanto 8).

Esempi: trovare il logaritmo dei seguenti numeri: 3,4576 - 0,0032774 e 1877,2

log 3,4576 = 0,53870 +
7
———
= 0,53877

log 0,0032774 = $\overline{3}$,51548 +
5
———
= $\overline{3}$,51553 (oppure = 7,51553 —10)

log 1877,2 = 3,27346 +
9
———
= 3,27355

Determinazione del numero conoscendo il logaritmo

Il numero corrispondente ad un dato logaritmo è detto **antilogaritmo del numero.** Viene indicato dal simbolo **antilog** oppure « $\log^{-1}$ ». Esso può essere calcolato procedendo a ritroso nei confronti del metodo di calcolo del logaritmo.

Si inizia, infatti, cercando la mantissa nelle tavole logaritmiche, e, una volta trovatala, si stabilisce la posizione della virgola in base al valore della « caratteristica ». Se essa è positiva, la virgola si trova a destra di tante cifre del numero trovato, (cominciando da destra) quante ne indica la « caratteristica », aumentata di 1. Se invece essa è negativa, il numero trovato deve essere preceduto da tanti zeri quanti ne indica la « caratteristica » del logaritmo, diminuito di 1, oltre i quali si scriverà la virgola, preceduta a sua volta da uno zero.

Per maggiore semplicità, ci serviremo di alcuni degli esempi riportati per illustrare il calcolo di logaritmo, procedendo però in senso inverso.

I° caso: si desidera calcolare l'antilogaritmo di 1,57978.

Si inizia cercando nella colonna « 0 » delle tavole il numero 57 (prima coppia della mantissa), dopo di che si trova, tra le righe orizzontali ad esso riferite, il gruppo dei tre numeri successivi (978). Ciò fatto, partendo dal numero 978 si segue la linea orizzontale verso sinistra, fino ad incontrare la colonna « N », nella quale figura in corrispondenza il numero 380.

La « caratteristica » del numero di cui dobbiamo calcolare l'antilogaritmo è 1. Ciò significa che la virgola deve avere alla sua sinistra due cifre (1 + 1). L'antilogaritmo sarà pertanto 38,0.

Se il numero di cui si deve calcolare l'antilogaritmo è 3,57978 il numero trovato sulle tavole mediante la mantissa è sempre 380; la posizione della virgola però è

diversa, in quanto una caratteristica pari a 3 significa che prima del numero 380 devono essere riportati 3 — 1 = 2 zeri. In tal caso l'antilogaritmo è 0,0038.

II° caso: si desidera calcolare l'antilogaritmo di 0,40824. Nella colonna « 0 » si cerca il numero 40, e nelle righe orizzontali della medesima colonna si cerca il gruppo di tre cifre 824. Proseguendo verso sinistra, nella colonna « N » si trova il numero 256. La caratteristica non presenta alcuno zero a destra della virgola. Ciò significa che, nell'antilogaritmo, la virgola deve essere a 0+1 cifre a destra del primo numero. L'antilogaritmo è pertanto 2,56.

III caso: si desidera calcolare l'antilogaritmo di 2,44778. Nella colonna « 0 » si trova il numero 44, mentre il gruppo di tre cifre 778 è nella colonna « 4 », tra le righe riferite al numero 44. A sinistra di quest'ultimo gruppo, nella colonna « N », troviamo il numero 280, al quale affianchiamo, a destra, il numero 4, ottenendo 2804. La caratteristica del numero di cui si sta calcolando l'antilogartmo è 2, per cui la virgola sarà dopo la 2+1 = 3ª cifra a partire da sinistra. L'antilogaritmo del numero è pertanto 280,4.

IV° caso: si desidera trovare l'antilogaritmo di $\bar{3}$,51553. Nella colonna « 0 » possiamo facilmente trovare la prima coppia di numeri della mantissa, ossia 51, mentre in nessuna delle righe orizzontali ad essi riferite troviamo il gruppo di tre cifre 553. Esso è però compreso tra i due gruppi più prossimi « in difetto » (ossia immediatamente inferiore) ed « in eccesso » (ossia immediatamente superiore): 548 e 561. La differenza tra questi due gruppi ammonta a 13, mentre quella tra il gruppo di tre cifre della mantissa data (553) e quella immediatamente inferiore (548) è 5.

Nella tabellina aggiunta alla tavola nella quale figura il primo gruppo di due cifre (51), troviamo il numero 13, e, proseguendo orizzontalmente verso destra, troviamo il numero più prossimo alla differenza tra la mantissa data e quella approssimata. Il numero 5,2 è il più prossimo alla differenza 5, e figura nella colonna « 4 ». Tale numero dovrà essere affiancato all'antilogaritmo della mantissa approssimata per difetto, per ottenere l'antilogaritmo della mantissa data.

Si ottiene così il numero 32774. Non rimane che trovare il posto della virgola. La caratteristica negativa del numero originale, 3, ci dice che il numero è preceduto da due zeri prima della virgola. Di conseguenza:

$$\text{antilog } \bar{3},51553 = 0,0032774$$

OPERAZIONI con i LOGARITMI

Moltiplicazione

Per moltiplicare due quantità, si sommano i rispettivi logaritmi e si trova l'antilogaritmo del risultato. Supponiamo di dover moltiplicare 6.952 per 437: ricorrendo alla regola abbiamo:

$$\begin{aligned} \log (6.952 \times 437) &= \log 6.952 + \log 437 \\ &= 3,84211 + 2.64048 \\ &= 6,48259 \end{aligned}$$

da cui:

antilog 6,48259 = 3.038.000 che è appunto il prodotto abbastanza approssimato dei due fattori.

Divisione

Per dividere due quantità, si sottraggono i rispettivi logaritmi e si trova l'antilogaritmo del risultato. Supponiamo di dover dividere 3.422 per 827. Applicando la regola abbiamo:

$$\begin{aligned} \log (3.422 : 827) &= \log 3.422 - \log 827 \\ &= 3,53428 - 2,91751 \\ &= 0,61677 \end{aligned}$$

da cui:

antilog 0,61677 = 4,1378 che è appunto il quoziente abbastanza approssimato dei due numeri.

Elevazione a potenza

Per elevare qualsiasi numero a qualsiasi potenza, è sufficiente moltiplicare l'esponente per il logaritmo della base, dopo di che si trova l'antilogaritmo del risultato. Supponiamo di dover elevare il numero 354 all'ottava potenza, (354^8). In luogo di moltiplicare sette volte il numero 354 per se stesso, si può scrivere

$$\begin{aligned} \log 345^8 &= 8 \log 345 \\ &= 8\ (2,53782) \\ &= 20.30256 \end{aligned}$$

da cui:

antilog 20,30256 = 200.060.000.000.000.000.000 che è appunto il valore abbastanza approssimato della potenza.

Il calcolo aritmetico (lievemente più esatto), avrebbe richiesto un tempo notevolmente maggiore.

Estrazione di radice

Per estrarre una radice di qualsiasi indice da qualsiasi numero, è sufficiente dividere il logaritmo del numero per l'indice della radice, dopo di che si calcola l'antilogaritmo del risultato.

Supponiamo *ad esempio* di dover calcolare il valore di $\sqrt[3]{1,572}$. Applicando la regola abbiamo:

$$\begin{aligned} \log \sqrt[3]{1,572} &= \frac{1}{3} \log 1,572 \quad \text{(pari a log 1,573 : 3)} \\ &= \frac{1}{3}\ 0,19645 \quad \text{(ossia 0,19645 : 3)} \\ &= 0.06548 \end{aligned}$$

da cui:

antilog 0,06548 = 1,1620, che è appunto il valore della radice.

LOGARITMI NATURALI

Per il calcolo di un logaritmo naturale (ossia « in base ε » invece che « in base 10 »), è ancora possibile usare le tavole dei logaritmi decimali mediante la seguente formula di conversione. Detto « A » il numero di cui si deve trovare il logaritmo naturale, si ha:

$$\log_\varepsilon A = 2,3026 \log A$$

e, viceversa,

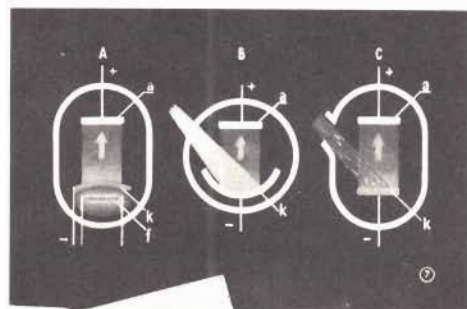
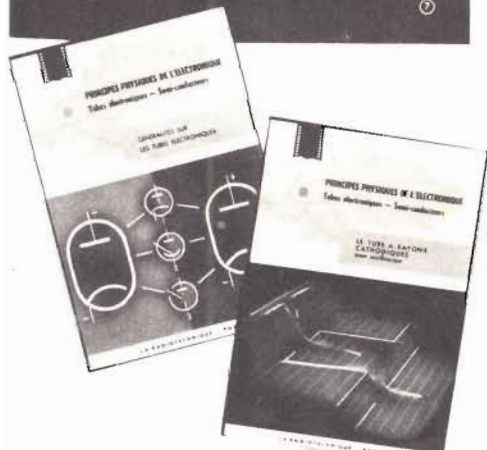
$$\log A = 0,4343 \log_\varepsilon A$$

Circa i calcoli e le operazioni che è possibile effettuare con i logaritmi naturali, valgono le medesime regole enunciate per i logaritmi decimali.

I principi fisici su cui si basa
il funzionamento di

TUBI ELETTRONICI e dei SEMICONDUTTORI

spiegati attraverso una serie di

DIAPOSITIVE A COLORI

il più **completo**
il più **scientificamente** informato
il più **accessibile**

- generalità sui tubi elettronici • il diodo • il triodo
- il tubo a raggi catodici • l'emissione fotoelettrica
- cinescopi per televisione • luminescenza dei gas e dei corpi solidi • introduzione alla fisica nucleare

chiedete dettagli a

PHILIPS - UFFICIO D.E.P. MILANO - PIAZZA IV NOVEMBRE, 3

Dal 1931 su tutti i mercati del mondo

PARTI STACCATE PER RADIO - TELEVISIONE - AMPLIFICAZIONE - APPARECCHI ELETTRONICI

COMMUTATORI - POTENZIOMETRI - MORSETTERIE - INTERRUTTORI - CAMBI TENSIONE
PORTAVALVOLE - CLIP - SCHERMI - PRESE E SPINE JACK MINIATURA - PRESE DI RETE
PRESA FONO - RESISTENZE A FILO - FUSIBILI E PORTAFUSIBILI - ANCORAGGI MULTIPLI

CHIEDETE IL LISTINO DELLE PARTI STACCATE ED IL "BOLLETTINO TECNICO GELOSO,,

Direzione Centrale: **GELOSO** S.p.A. Viale Brenta 29 - MILANO 808

HEATH COMPANY

a subsidiary of Daystrom, Inc.

CARATTERISTICHE

Prove	Controlla la qualità, l'emissione, gli elettrodi in corto circuito, le connessioni interrotte, la continuità dei filamenti
Tipi di tubi	A 4, 5, 6, 7 piedini, grandi, normali, miniatura, octal, loctal, Hytron, Noval, e lampadine spie
Scale	Strumento ad indice con 112 mm. di scala, con le suddivisioni « BUONA - AVARIATA »
Tabella di riscontro a tamburo	Illuminata e di movimento agevole
Tensioni di filamento	Selezione con commutatore di 14 differenti tensioni comprese fra 0,75 Volt e 117 Volt
Tensioni di prova	da 0 a 250 Volt
Alimentazione	105 ÷ 125 Volt c.a. - 50 ÷ 60 Hz. con possibilità di regolazione della tensione di rete
Dimensioni	larghezza 35, profondità 27, altezza 10,5 cm.

MODELLO

TC-3

REQUISITI

- Semplificazione del cablaggio.
- Tabella di riscontro di tipo a tamburo, illuminata e bilanciata nel suo movimento.
- Interruttori e commutatori individuali per ogni elemento.
- Costruzione funzionale ed elegante.
- Strumento ad indice ad ampia scala, tre scale colorate, ampiezza della scala 112 mm.

RAPPRESENTANTE GENERALE PER L'ITALIA

LARIR soc. r. l. MILANO P.zza 5 GIORNATE 1
Telefoni: 795.762 - 795.763

AGENTI ESCLUSIVI DI VENDITA PER: LAZIO - UMBRIA - ABRUZZI
Soc. FILC RADIO - ROMA
Piazza Dante, 10 - Telefono 736.771

EMILIA - MARCHE
Ditta A. ZANIBONI - BOLOGNA
Via Azzogardino, 2 - Telefono 263.359

corso di
RADIOTECNICA

pubblicazione settimanale - 21 - 28 gennaio 1961 un fascicolo lire 150 17° numero

corso di
RADIOTECNICA

settimanale a carattere culturale

Direzione, Amministrazione, Pubblicità:
Via dei Pellegrini 8/4 - Telef. 593.478
MILANO

Ogni fascicolo — contenente 3 lezioni — costa lire 150, acquistato alle edicole.

Se l'edicola risulta sprovvista, o si teme di rimanere privi di qualche numero, si chieda invio settimanale direttamente al proprio domicilio a mezzo abbonamento.

Il versamento per ricevere i 52 fascicoli costituenti l'intero Corso è di lire 6500 + I.G.E. = lire 6630. A mezzo vaglia postale, assegno bancario, o versamento sul conto corr. postale 3/41.203 del « Corso di RADIOTECNICA » - Via dei Pellegrini 8-4 - Milano. In ogni caso, scrivere in modo molto chiaro e completo il proprio indirizzo.

L'abbonamento può essere effettuato in qualsiasi momento; si intende comprensivo delle lezioni pubblicate e dà diritto a ricevere tali lezioni, che saranno inviate con unica spedizione.

Estero: abbonamento al Corso, Lit. 8.500. ($ 15). Numeri singoli Lit. 300 ($ 0,50).

Per i cambi di indirizzo durante lo svolgimento del Corso, unire lire 100, citando sempre il vecchio indirizzo.

Fascicoli singoli arretrati — se disponibili — possono essere ordinati a lire 300 cadauno. Non si spedisce contrassegno.

Distribuzione alle edicole di tutta Italia: Diffus. Milanese . Via Soperga, 57 - Milano.

Direttore responsabile: Giulio Borgogno.

Autorizzaz. N. 5357 - Tribunale di Milano.

Stampa: Intergrafica S.r.l. - Cologno Monzese.

La Direzione non rivende materiale radio; essa può comunicare, se richiesta, indirizzi di Fabbricanti, Importatori, Grossisti ecc. in grado di fornire il necessario ed ai quali il lettore può rivolgersi direttamente.

Alla corrispondenza con richiesta di informazioni ecc. si prega allegare sempre il **francobollo per la risposta.**

Parte del testo e delle illustrazioni è dovuta alla collaborazione del Bureau of Naval Personnel, nonchè al Dept. of the Army and the Air Force - U.S.A.

A chi può essere utile questo Corso? Anzitutto — stante la sua impostazione — il Corso, basato sull'esposizione in forma a tutti accessibile, della radiotecnica, dai suoi elementi basilari alla evoluzione più recente, rappresenta la forma ideale per tutti coloro che intendono dedicarsi all'elettronica, sia come forma ricreativa sia — soprattutto — per l'acquisizione di una professione specializzata che possa procurare loro una posizione di privilegio in seno alla società odierna.

Anno per anno, la nostra civiltà si indirizza sempre più verso questa meravigliosa, si potrebbe dire fascinosa, elettronica, che nel modo più evidente consente sviluppi impensati, progressi grandiosi e una rapida evoluzione di tutti gli altri rami dello scibile che essa tocca e influenza.

L'industria, tutta l'industria, nel senso più ampio, da quella elettrotecnica a quella meccanica, alla metallurgica, alla chimica ecc., con i suoi laboratori di ricerca e le sue fabbriche richiede, e richiederà sempre più, con un ritmo rapidamente crescente, tecnici specializzati con conoscenza dell'elettronica, tecnici specificatamente elettronici e persino operai e impiegati di ogni ordine e categoria con cognizioni di elettronica.

Si può dire che anche le branche commerciali, quelle dei trasporti e persino quelle amministrative con le recenti introduzioni delle calcolatrici, abbisognano di personale che conosca i principi dell'elettronica, le macchine relative, il loro pieno sfruttamento, la eventuale riparazione ecc. e, quanto più in modo completo, quanto meglio.

Nasce, da una tale situazione, una logica conseguenza: per la scelta di una professione o di un mestiere, per un miglioramento della propria posizione sociale, per l'intrapresa di una libera attività o anche per la sola acquisizione di cognizioni che indubbiamente verranno oltremodo utili, è quanto mai opportuno riflettere se non sia conveniente dedicare un po' di tempo allo studio di questa scienza che ha tra l'altro il pregio di rendersi immediatamente attraente, concreta, accessibile e foriera di moltissime soddisfazioni.

A questo scopo appunto, e con questi intenti, è stato redatto questo Corso.

Non mancano invero altri corsi (specie per corrispondenza) o scuole di radiotecnica, nè mancano (sebbene siano in numero del tutto inadeguato) scuole statali o pareggiate ma la struttura e l'impostazione che caratterizzano queste 156 lezioni sono alquanto particolari, presentando non pochi vantaggi sulle diverse altre forme di cui si è detto.

Anzitutto vogliamo porre in evidenza **il fattore economico.**

Frequentare regolarmente, durante tutto l'anno, una scuola è certo il modo più logico — anche se non il più rapido — per apprendere ma, tralasciando il fatto che rarissimi sono gli Istituti di radiotecnica, è a tutti possibile dedicarsi esclusivamente, e per l'intero anno, allo studio? Noi riteniamo che chi può farlo costituisca oggi assai più l'eccezione che la regola. Ciò significa infatti poter disporre liberamente del proprio tempo senza avere la necessità di un contemporaneo guadagno: il nostro Corso permette a chiunque di studiare a casa propria, nelle ore libere dal lavoro, senza abbandonare o trascurare quest'ultimo. Ciò caratterizza invero anche altri corsi, ma il vantaggio economico diviene notevole ed evidentissimo se si considera che di fronte all'esborso, anche se rateale, di quasi 80.000 lire che i corsi per corrispondenza richiedono, seguendo il nostro Corso la spesa in un anno risulta di poco più di 7500 lire (150 lire alla settimana presso un'edicola) o di 6630 lire totali, con recapito postale, settimanale, delle lezioni a domicilio.

E' superfluo dire che la Modulazione di Frequenza, i transistori, i circuiti stampati, la trasmissione, il telecomando ecc. sono argomenti integrali del Corso e non costituiscono motivo di corsi speciali, aggiunti o particolari.

Le lezioni di questo Corso — a differenza di molte altre — non sono stampate con sistemi di dispensa, a ciclostile, o con sistemi più o meno analoghi, derivanti cioè da un originale battuto a macchina da scrivere; esse sono stampate in uno stabilimento grafico, con chiari caratteri tipografici da cui deriva una assai più agevole lettura e — fattore certamente di non secondaria importanza — un contenuto molto più ampio, corrispondendo una pagina a stampa a tre o quattro pagine di quelle citate. Il lettore avrà, alla fine del Corso, un volume di ben 1248 pagine di grande formato!

Chiunque, indipendentemente dall'età, dalla professione e dalle scuole compiute **può seguire il Corso.** Alle esposizioni teoriche si abbinano numerose, attraenti, istruttive ed utili descrizioni che consentono la realizzazione di ricevitori, amplificatori, strumenti vari e persino di trasmittenti su onde corte.

A questo proposito è sintomatico il fatto che la Direzione non vuole assolutamente assumere la fisionomia di un fornitore o commerciante di materiale radio, rivendendo agli allievi le parti necessarie. Il materiale occorrente l'interessato può acquistarlo dove e come meglio crede e, assai spesso anzi, già ne dispone. Viene così evitato l'acquisto forzoso, caratteristico più o meno di tutti gli altri corsi.

Anche chi è già radiotecnico, anche chi ha seguito o segue altri corsi troverà il massimo tornaconto in questo completo ed aggiornato lavoro. Molte nozioni, è logico, saranno note, altre un po' meno e sarà utile rinfrescarle, e il tutto infine costituirà un manuale di consultazione, prezioso tanto per la teoria esposta quanto per i numerosi schemi, per le tabelle, per i grafici, gli elenchi, i dati, il vocabolario dei termini ecc.

Concludendo, si può affermare che questo **Corso di Radiotecnica** oltre che come insegnamento graduale si presenta come **enciclopedia e rivista assieme** ciò che permette di formare — con modestissima spesa — **il più completo, ricco, utile e pratico volume di radiotecnica di cui sia dato oggigiorno disporre.**

LA VALVOLA TERMOIONICA : TETRODI e PENTODI

Sebbene il triodo rappresenti un dispositivo di grande importanza nel campo della radiotecnica, il suo impiego nelle apparecchiature di amplificazione risulta alquanto limitato. La ragione principale di questa limitazione è, come abbiamo visto, la capacità presente fra i suoi elettrodi ed in modo particolare quella esistente tra la griglia e la placca. Quando le frequenze di lavoro sono alte, e tanto più con l'accrescere delle stesse, la capacità griglia-placca diventa sempre più facile via per il trasferimento di energia di ritorno dal circuito di uscita a quello di entrata. Questa azione risulta maggiormente pronunciata allorchè si hanno circuiti risonanti sia sulla griglia che sulla placca, sintonizzati sulla stessa frequenza o su frequenze prossime. La conseguenza di ciò è che il triodo viene usato raramente come amplificatore, a meno che non venga fatto ricorso ad un sistema appropriato di neutralizzazione per controbilanciare il non desiderato ritorno del segnale.

La neutralizzazione non rappresenta però una soluzione soddisfacente in modo completo. Più è alta la frequenza di funzionamento e più critica diventa la messa a punto della neutralizzazione stessa. Qualche volta, inoltre, è impossibile neutralizzare adeguatamente su di una intera banda. Soprattutto, la neutralizzazione è, in definitiva, una soluzione che risulta critica e fastidiosa. Essa viene ancora applicata in qualche apparecchiatura, ma in generale il suo uso è stato ridotto in seguito allo sviluppo di nuovi tipi di valvole che possono ovviare alla necessità di una neutralizzazione in virtù di una forte riduzione della capacità interelettrodica griglia-placca e, di conseguenza, del passaggio dell'energia di ritorno.

In aggiunta a quanto si è detto sopra, risulta anche che il triodo non soddisfa tutti i requisiti, o meglio le necessità di amplificazione che ricevitori, trasmettitori e apparecchiature affini presentano. Il rapporto fisico esistente tra gli elettrodi del triodo è tale da porre troppo presto dei limiti al grado di amplificazione, ossia è tale da non poter raggiungere i limiti che teoricamente sarebbero raggiungibili con la valvola. Un tempo ciò costituì un grave problema per i progettisti in quanto il progresso nel campo delle telecomunicazioni dipendeva, e dipende tuttora, dalle possibilità di amplificazione delle apparecchiature.

La risposta a questo problema è stata trovata, praticamente, a mezzo di due altri tipi di valvola. Entrambi sono basati sul triodo ma presentano delle modifiche rispetto alla valvola originale a tre elementi. Una versione è costituita dal **tetrodo**, ossia valvola elettronica a quattro elementi, che contiene un emettitore elettronico, due griglie ed una placca. L'altra versione è il **pentodo**, che contiene cinque elettrodi: un emettitore elettronico, tre griglie ed una placca.

IL TETRODO

La valvola a quattro elettrodi contiene dunque, come abbiamo testè visto, tutti gli elettrodi del triodo (che svolgono in linea di massima le stesse funzioni) ed in più un quarto elettrodo: esso è una seconda griglia e prende il nome di **griglia schermo**. La valvola a quattro elettrodi viene chiamata *tetrodo* e, a volte, *valvola a griglia schermo.*

La struttura interna di un tetrodo (**figura 1-A**) non differisce molto da quella di un triodo. In A la griglia schermo del tetrodo presenta un profilo rettangolare. La placca è sagomata ad alette per una maggiore facilità di dissipazione del calore. In **B** si osserva che la griglia schermo praticamente è doppia, vale a dire che un settore è rappresentato dalla struttura metallica perforata cilindrica e l'altro settore è costituito da una vera e propria griglia a profilo ovale, collocata tra la griglia di controllo e la placca. La prima sezione della griglia schermo è esterna a tutta la struttura e si trova tra il vetro del bulbo e la placca. Il profilo delle griglie può variare: nella maggior parte dei casi si adotta la forma elicoidale. Il funzionamento degli elettrodi però, fondamentalmente rimane lo stesso, indipendentemente dal profilo strutturale della griglia.

Sebbene il tipo di valvola in questione, realizzato secondo la struttura che appare in **figura 2**, vada scomparendo, lo riportiamo perchè è dato di trovarne in apparecchiature ancora in funzione ed è rappresentativo per mettere in evidenza l'evoluzione verificatasi in questo settore. Nell'illustrazione vediamo che il collegamento con gli organi del circuito viene fatto, oltre che a mezzo dei piedini posti alla base della valvola, anche usufruendo di un attacco a cappellotto posto sulla sommità del bulbo di vetro. Le valvole di questo tipo sono dette a « doppia uscita » (*double-ended*, in inglese) mentre, se tutti gli elettrodi usufruiscono di piedini alla base, sono dette a uscita singola (*single-ended*). In molti tetrodi — in parte però superati — previsti per l'impiego nei ricevitori ed in apparecchiature di bassa potenza, il cappellotto illustrato serve per il collegamento alla griglia di controllo. In valvole di maggiore potenza (trasmittenti), il cappellotto viene usato invece per il collegamento alla placca. La ragione per la quale del cappellotto si usufruisce per colle-

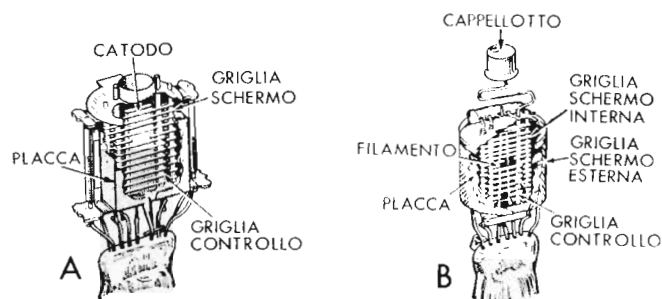



Fig. 1 — In A, struttura interna di un tetrodo: si scorge, tra l'altro, l'elemento aggiunto rispetto al triodo, la griglia schermo, che ha profilo rettangolare. In B, altro tipo di tetrodo, con griglia doppia: interna (come in A), ed esterna.

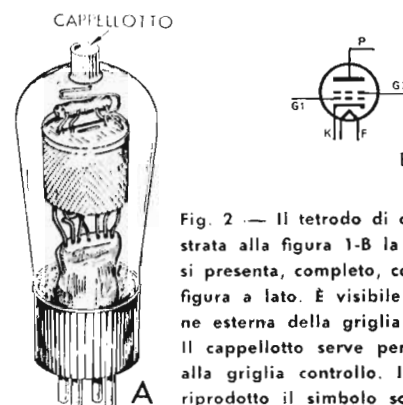



Fig. 2 — Il tetrodo di cui è illustrata alla figura 1-B la struttura, si presenta, completo, come dalla figura a lato. È visibile la sezione esterna della griglia schermo. Il cappellotto serve per l'attacco alla griglia controllo. In alto, è riprodotto il simbolo schematico.

gare o la griglia controllo o la placca, a seconda dei casi, sta nel fatto che si vuole ridurre la capacità tra i piedini terminali della griglia e della placca.

È norma comune adoperare l'intera parola come « griglia controllo » e « griglia schermo », tuttavia, sugli schemi elettrici, è procedura pratica designare tali elettrodi a mezzo di abbreviazioni che si concretano nell'espressione **G1** e **G2**, rispettivamente. Il numero più piccolo viene assegnato alla griglia che risulta più vicina al catodo e che è quindi la griglia controllo: G2 rappresenta perciò in questo caso, la griglia schermo. È opportuno notare anche che la parola griglia schermo viene spesso abbreviata nella più semplice definizione di **schermo**, se ciò non può portare ad equivoci nel caso interessato.

La **figura** 3 illustra un circuito adottante un tetrodo. Dal circuito si rileva che la differenza principale, schematicamente, tra il tetrodo ed il triodo, è rappresentata dal circuito dello schermo e dalla sua sorgente di alimentazione. Nell'impiego normale, lo schermo viene mantenuto ad un potenziale positivo (rispetto al catodo) leggermente inferiore al potenziale applicato alla placca. Essendo soggetto ad un potenziale positivo, la griglia schermo attrae verso di sè gli elettroni: una parte di essi prosegue verso la placca, data la sua struttura a griglia, ed una parte minore viene da essa assorbita. In sostanza, lo schermo accelera, con la sua azione, la corsa degli elettroni verso l'anodo e. con la parte di elettroni da esso assorbiti, dà luogo alla corrente di griglia schermo. Si comprende come la placca debba avere una tensione più alta dello schermo se si considera che essa si trova a maggiore distanza dal catodo. e che con la placca deve essere effettuato l'assorbimento elettronico preponderante, quello utile cioè ai fini dell'amplificazione, mentre la corrente di griglia schermo, di regola, non ha scopi pratici.

Lo scopo principale della griglia schermo, rimane pertanto quello di ridurre la capacità placca-griglia, che, come abbiamo visto. rappresenta la strada per il ritorno reattivo indesiderato. Su una media di 2 pF di capacità griglia-placca di un triodo, si hanno 0,01 pF, o meno, in un tetrodo. Lo schermo compie questa sua funzione agendo come uno schermo elettrostatico fra la griglia di controllo e la placca. Se si impiega anche una griglia schermo a struttura esterna alla placca (come quella illustrata alla figura 1-B ed alla figura 2-A) si isola la placca della valvola dalle influenze dei circuiti esterni.

Oltre all'azione che abbiamo già detto, consistente nel rinforzare l'azione della placca nell'attrazione di un maggior numero di elettroni, la griglia schermo ha un secondo effetto: essa rende la corrente di placca praticamente indipendente dalla tensione di placca in seguito appunto al suo effetto di schermo. Infatti, poichè lo schermo è posto tra la griglia controllo e la placca, le varianti del valore della tensione di placca, hanno scarso effetto sulla carica spaziale. Si potrebbe dire, per meglio comprendere questo particolare, che il campo di azione della tensione di placca termina sullo schermo. Ciò non vuol dire che la tensione di placca non sia importante: essa rappresenta sempre il mezzo per l'attrazione degli elettroni verso di sè, ed il circuito di placca è pur sempre il circuito di uscita. Tuttavia, la forza di attrazione responsabile del movimento degli elettroni oltre i confini della griglia controllo, è la tensione sullo schermo piuttosto che quella sulla placca.

Per quanto si riferisce alla frequenza del segnale, la griglia schermo viene fugata a massa (ossia al lato negativo dell'alimentazione) a mezzo di un condensatore che deve presentare una bassa reattanza appunto alla frequenza del segnale entrante. In tal modo, qualsiasi variazione della corrente di griglia risulta cortocircuitata a massa da tale capacità che mantiene lo schermo ad un potenziale di tensione continua costante. Anche tutte le eventuali variazioni nella tensione di placca che possono provenire da un accoppiamento capacitivo con lo schermo, vengono fugate a massa. Il segnale di corrente alternata presente alla placca, quindi, non può opporsi all'azione della griglia o influenzare in qualsiasi maniera la corrente di placca. La griglia aggiunta scherma la griglia controllo dalle variazioni di potenziale della placca. Ciò effettivamente riduce la capacità interelettrodica griglia-placca.

Curve caratteristiche

Grazie alla presenza della griglia schermo perciò, una variazione della tensione di placca, ha effetto minimo sulla corrente anodica. Tuttavia, la griglia pilota conserva la sua possibilità di controllo della corrente in placca. La **figura 4** illustra una tipica famiglia di curve caratteristiche di placca, di un tetrodo. La curva a segno tratteggiato rappresenta la corrente di griglia schermo, quando la polarizzazione negativa della prima griglia ammonta a —3 volt.

Quando la tensione di placca è inferiore a quella di

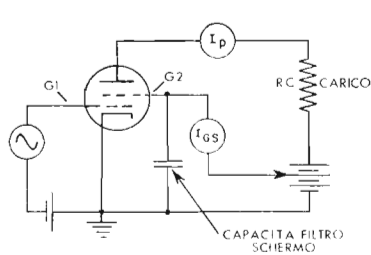



Fig. 3 — Lo schema inerente al funzionamento del tetrodo, è caratterizzato, rispetto allo schema del triodo, dalla necessità di alimentazione dello schermo, cui va applicata una tensione positiva.

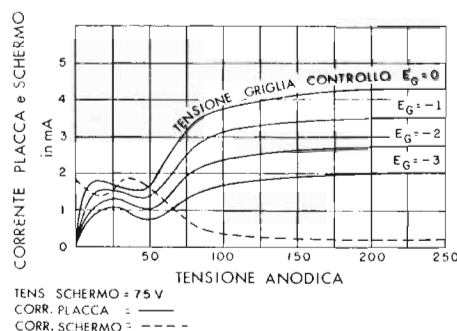



Fig. 4 — Curve caratteristiche di placca di un tetrodo. È messa in evidenza la pendenza negativa dovuta all'emissione secondaria, per tensione di schermo superiore a quella di placca.

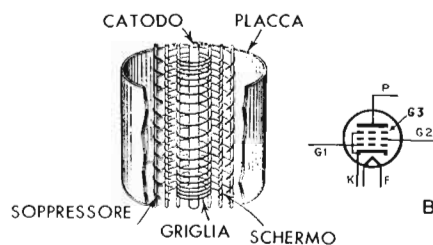



Fig. 5 — Disposizione degli elettrodi all'interno di un pentodo. Rispetto al tetrodo, si ha in più la griglia di soppressione o soppressore che è la più vicina alla placca. In B, il simbolo schematico del pentodo.

schermo, la curva ha una pendenza negativa. Ciò è il risultato di una **emissione secondaria** della placca. Quando la tensione di schermo è fissa, la velocità con la quale gli elettroni colpiscono l'anodo aumenta con l'aumentare della tensione ad esso applicata. Allorchè gli elettroni colpiscono la placca con forza sufficiente, alcuni di essi rimbalzano, nello spazio presente tra la placca e lo schermo, in direzione di quest'ultimo per cui, se lo schermo ha un potenziale più elevato della placca, questi elettroni secondari sono attratti dallo schermo stesso. Dato che il loro movimento è in direzione opposta a quella della normale corrente anodica, la stessa subisce una riduzione di intensità. Alla figura 4 si può notare che la corrente di schermo aumenta col diminuire della corrente di placca. La corrente anodica diminuisce sino a che la tensione di placca si approssima a quella di griglia schermo. Ulteriormente, qualsiasi aumento nella tensione di placca, causa un secondo rimbalzo degli elettroni secondari verso la placca stessa che li attrae con conseguente aumento della corrente anodica.

Il tratto della curva in cui si ha, per ogni aumento della tensione di placca, una conseguente diminuzione della corrente anodica, si chiama tratto di **resistenza negativa,** in quanto detta diminuzione è contraria all'aumento che si riscontra in una resistenza normale o « positiva ».

Nei circuiti di amplificazione con tetrodo, la placca deve sempre essere alimentata con tensioni particolarmente alte, onde evitare che essa lavori lungo il tratto di resistenza negativa. In quest'ultimo caso, il segnale d'uscita risulta distorto, e si possono avere delle oscillazioni.

Vantaggi e inconvenienti del tetrodo

Tra i vantaggi offerti dal tetrodo nei confronti del triodo, possiamo considerare il fatto del coefficiente di amplificazione notevolmente maggiore. Mentre, infatti, con un triodo si possono avere valori di *mu*, variabili da 5 a 50, con un tetrodo, tale fattore può variare da 150 a 600, a seconda dei tipi.

Ciò nonostante, la conduttanza mutua non è altrettanto elevata. Il motivo può essere spiegato dalla seguente equazione:

$$g_m = \frac{\mu}{Rp}$$

Il valore della resistenza di placca, *Rp*, al denominatore della frazione, aumenta, in un tetrodo, in proporzione maggiore di quanto aumenti il fattore *mu* (presente al numeratore). Perciò, il rapporto $\mu : Rp$ diminuisce in proporzione, e di conseguenza diminuisce g_m.

In genere, il valore di g_m di un tetrodo, può variare da 1.000 a 4.500 μmho, pari rispettivamente a 1 e 4,5 $mA/volt$.

Gli inconvenienti del tetrodo sono notevoli. Come si è già detto, il suo funzionamento deve essere limitato ad una sola parte della curva della caratteristica di placca. Gli effetti dell'emissione secondaria sono trascurabili solamente in quel tratto per il quale la tensione di placca supera la tensione di schermo. In vista degli effetti del carico di placca sulla tensione di placca allorchè viene applicata una tensione di segnale alla griglia controllo, si rende necessario il ricorso ad una tensione di alimentazione anodica molto alta. Solo così si può fare in modo che si verifichi la necessaria escursione della tensione di placca senza che il valore più basso di essa scenda al disotto di quello della griglia schermo. Tale necessità di un'alta tensione è certamente un notevole inconveniente. In effetti, i tetrodi non sono più praticamente adottati nei radioricevitori: il loro impiego è ancora attuale invece, per i tipi di potenza, nei trasmettitori.

In un tetrodo, concludendo, si riduce la capacità interelettrodica, e quindi l'ammontare della reazione interna; ciò permette l'uso di tale tipo di valvola in amplificatori ad alto guadagno, ma è bene avvertire subito che le più moderne apparecchiature fanno ricorso ad un terzo tipo di valvola che, in sostanza, può essere considerato però, un perfezionamento del tetrodo. Si tratta del pentodo, che ora esamineremo.

IL PENTODO

Il pentodo, come abbiamo ora affermato, è sostanzialmente un tetrodo al quale è stata aggiunta una terza griglia, esattamente tra la griglia schermo e la placca. Questa nuova griglia è detta **griglia di soppressione**. Si può vedere alla **figura 5** la struttura interna di un pentodo per ciò che si riferisce alla disposizione degli elettrodi: accanto è disegnato il simbolo schematico.

L'azione della griglia di soppressione si manifesta essenzialmente nei riguardi dell'emissione secondaria — il principale difetto del tetrodo — che essa riesce a soppri-

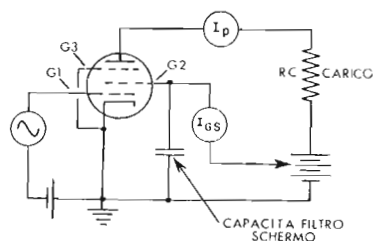



Fig. 6 — La griglia di soppressione, collegata al catodo, porta il potenziale negativo di quest'ultimo in vicinanza della placca. Gli elettroni dell'emissione secondaria vengono respinti dalla griglia di soppressione e rimandati alla placca.

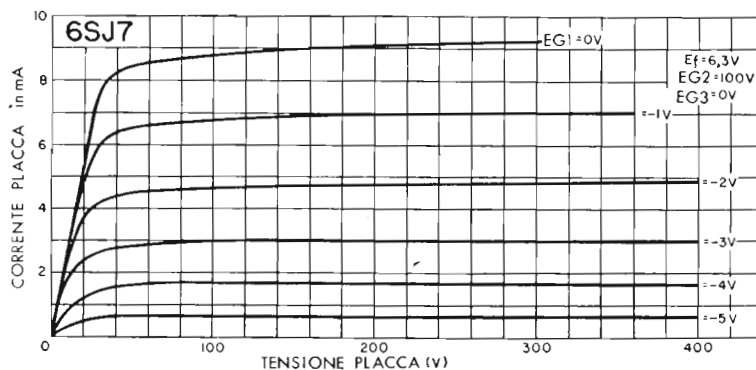



Fig. 7 — Nelle curve caratteristiche di un pentodo, si nota l'assenza del gomito (pendenza negativa) dei tetrodi. Si noti che, ad eguali aumenti di tensione di G1, non corrispondono eguali aumenti della corrente di placca.

mere o per lo meno ad annullare nei suoi effetti. Vedremo tra breve come ciò avviene.

La nuova griglia (vedi **figura 6**), di norma, viene connessa al catodo mediante un collegamento che può essere interno o esterno alla valvola. In quest'ultimo caso, ovviamente, la griglia di soppressione fa capo ad un apposito piedino: tale indipendenza del collegamento consente sia di impiegare il pentodo, se necessario, come un triodo (unendo alla placca tanto la griglia di soppressione che la griglia schermo), sia di elaborare particolari circuiti nei quali alla griglia viene affidato altro compito che non sia la soppressione.

Collegando la griglia di soppressone al catodo si fa sì che essa porti il potenziale relativo del catodo stesso in vicinanza degli altri elettrodi. In tale circostanza la griglia di soppressione non da luogo ad assorbimento di corrente propria, nè rende necessario alcun accorgimento di alimentazione per procurarle una specifica tensione. Essa è da considerarsi a potenziale zero o di massa.

Esaminiamo ancora la figura 6. Nel funzionamento del circuito, gli elettroni emessi dal catodo vengono accelerati in direzione della placca dal potenziale positivo di G_2. Essi passano attraverso le aperture della griglia di soppressione, G_3. Allorchè raggiungono la placca lo fanno con velocità tale (in seguito all'azione della tensione di schermo) da causare l'emissione secondaria.

Poichè la placca è positiva rispetto al catodo ed il catodo è connesso alla griglia di soppressione, quest'ultima risulta negativa in relazione alla placca. Di conseguenza, gli elettroni dell'emissione secondaria emessi dalla placca (particelle negative) vengono respinti dalla griglia di soppressione (negativa) e rimandati alla placca. Viene così evitata la corrente inversa tra placca e schermo, anche se la tensione allo schermo eccede momentaneamente la tensione di placca.

La presenza della griglia di soppressione tra schermo e placca ha infine un altro benefico effetto: riduce ulteriormente la capacità griglia-placca rispetto al tetrodo. Ne deriva una riduzione del problema dell'accoppiamento di ritorno, ossia di reazione interna.

Questa è anche una delle ragioni per cui il pentodo ha avuto, ed ha, una così larga applicazione nei circuiti richiedenti amplificazione.

Curve caratteristiche

La **figura 7** illustra le caratteristiche tipiche di un pentodo. Il fattore di amplificazione è superiore a quello di un triodo grazie al fatto che l'azione contrastante da parte della placca è schermata nei confronti della griglia.

Sia la resistenza di placca che la conduttanza mutua sono maggiori che nei triodi. Ad esempio, la resistenza dinamica di placca di un pentodo tipico come la 6SJ7 ammonta a circa 700.000 ohm; la resistenza statica è leggermente inferiore.

Per l'amplificazione di potenza, quando cioè è necessario usare una valvola che permetta il passaggio di correnti di notevole intensità, è più opportuno l'uso di valvole che presentino bassa resistenza di placca. Perciò, un triodo, in questo caso risulta migliore di un pentodo. Nei casi invece in cui si desidera principalmente un'alta amplificazione, il pentodo è preferibile proprio per la sua alta resistenza di placca.

Nelle curve di figura 7 la tensione anodica di alimentazione E_b varia da zero a 400 volt (asse delle X). Dal momento che le curve sono ricavate senza carico anodico, abbiamo $E_b = E_p$; la tensione di G_2 viene mantenuta al valore costante di 100 volt. La griglia di soppressione è a tensione zero, mentre la polarizzazione della griglia controllo G_1, varia da zero a —5 volt, in scatti di 1 volt. La tensione del filamento, E_f, è di 6,3 volt.

Il grafico ci mostra un certo numero di particolari di notevole importanza. Innanzitutto, i gomiti caratteristici del tetrodo (vedi figura 4) e presenti nelle sue curve, qui non esistono, in quanto in nessun caso si ha una diminuzione della corrente anodica corrispondente ad un aumento della tensione, il che signfica che il pentodo non ha mai una resistenza negativa.

Resta, tuttavia, una zona critica del potenziale di placca, corrispondente al tratto nel quale una minima variazione della tensione anodica determina una notevole variazione della corrente. Fortunatamente questa zona è abbastanza limitata. Il *gomito* superiore della corrente anodica viene raggiunto molto più rapidamente che non nel tetrodo.

Analogamente a quanto avviene nel tetrodo, il valore della corrente anodica è relativamente indipendente da quello della tensione. La parte utile di ogni curva si tro-

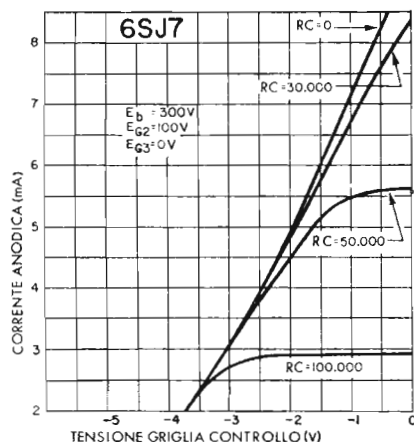



Fig. 8 — Curve della caratteristica dinamica di un pentodo. Contrariamente a quanto avviene per il triodo, le migliori condizioni sono per un carico basso.

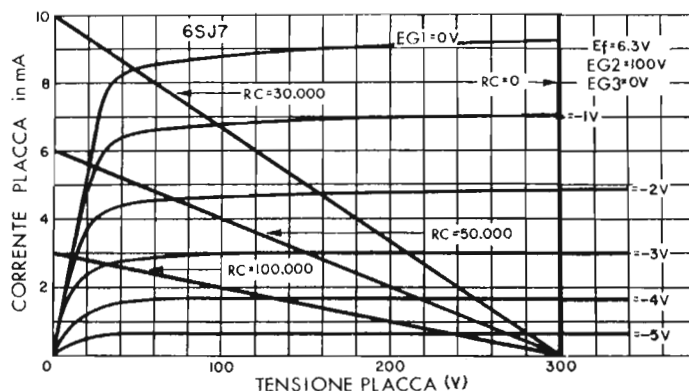



Fig. 9 — Rette per diversi valori di carico di placca di un pentodo. Più alto è il valore e minore linearità si riscontra.

va a destra del gomito, nel tratto cioè relativamente piatto.

Si può rivelare, dalla figura 7, una significativa particolarità. Le diverse curve non sono equidistanti tra loro (nella zona piatta). Ad ogni specifico e precisato valore di tensione di griglia (G_1) corrisponde una curva della corrente di placca ma, pur essendo gli incrementi della tensione di griglia sempre di 1 volt, le correnti di placca non mutano di un costante ammontare (vedi disuguaglianza delle distanze), con la tensione di placca e di schermo ad un valore fisso.

Esaminiamo un po' più in dettaglio questo fenomeno dato che esso riveste una notevole importanza.

Sempre con riferimento alla figura 7, riportiamo, sotto forma di tabellina, i diversi valori e le varianti relative, tenendo costanti la tensione di placca a 300 volt, quella di schermo a 100 volt e presupponendo, naturalmente, la griglia di soppressione, collegata al catodo, ad un potenziale zero.

Tensione di placca-volt (E_{bb})	Tensione alla griglia controllo (E_{G1})	Corrente di placca (I_b)	Variazioni della corrente di placca
300	0	9,3 mA	
300	− 1	7,0 mA	(9,3 − 7,0) = 2,3 mA
300	− 2	4,8 mA	(7,0 — 4,8) = 2,2 mA
300	− 3	3,0 mA	(4,8 — 3,0) = 1,8 mA
300	− 4	1,6 mA	(3,0 — 1,6) = 1,4 mA
300	− 5	0,6 mA	(1,6 — 0,6) = 1,0 mA

Questi dati dimostrano l'andamento non lineare, al quale si è fatto cenno, tra le variazioni della corrente di placca e le variazioni della tensione di griglia e, conseguentemente, il sorgere di una distorsione. Si può affermare, dopo questo esame, che il funzionamento di un pentodo genera maggiore distorsione del funzionamento di un triodo. Con una scelta appropriata delle costanti di lavoro, tale distorsione può però essere mantenuta in limiti accettabili. I vantaggi conseguenti l'uso del pentodo in certi settori delle apparecchiature di radiocomunicazione superano senz'altro l'inconveniente della maggiore distorsione e, per questo, tale tipo di valvola è di impiego molto corrente.

Costanti dei pentodi

Il fattore di amplificazione di un pentodo è elevato: esso è di circa 1.500-2.000, per valvole di tipo ricevente. Questo valore è oltre 100 volte più grande del fattore di amplificazione dei triodi, e tre o quattro volte più grande di quello dei tetrodi. La ragione di questa particolare attitudine del pentodo ad amplificare può essere spiegata graficamente individuando il valore di μ nella famiglia delle curve di placca riportata alla figura 7.

Anche la resistenza di placca del pentodo presenta un valore notevolmente alto. Ad esempio, il pentodo 6SJ7 ha una resistenza di placca di circa 1 Megaohm, vale a dire 200 volte più alta della resistenza di placca di un triodo, e diverse volte quella di un tetrodo. I valori alti di resistenza di placca, sia del tetrodo che del pentodo, collocano gli stessi in una particolare categoria circa l'impiego, categoria che risulta distinta da quella che enumera i triodi. Un particolare da notare è che più alta è la polarizzazione negativa di griglia, più alta è la resistenza di placca del pentodo, come si può osservare nelle curve caratteristiche.

Alcuni tipi di pentodi, noti come **pentodi di potenza**, sono realizzati in modo da tenere la resistenza di placca più bassa che non nei pentodi di tipo corrente; ma anche in questa serie di pentodi, R_p risulta parecchie volte più alto del valore che può essere riscontrabile nei triodi previsti per applicazioni analoghe.

I valori di conduttanza mutua dei pentodi di potenza, tuttavia, non differiscono molto da quelli dei triodi progettati per le stesse applicazioni. Nonostante l'alto fattore di amplificazione dei pentodi, la loro conduttanza mutua è paragonabile a quella dei triodi e dei tetrodi. Ciò è dovuto alla elevatissima resistenza di placca del pentodo. È ovvio che per questo, il rapporto tra la variazione specifica della corrente anodica e quella unitaria corrispondente della tensione di griglia, risulti molto basso.

Caratteristiche dinamiche del pentodo

La **figura 8** illustra il comportamento dinamico di un pentodo tipo 6SJ7, alimentato da una tensione anodica E_b di 300 volt, con E_{g2} = 100 volt, E_{g3} = 0 volt. Le rette di

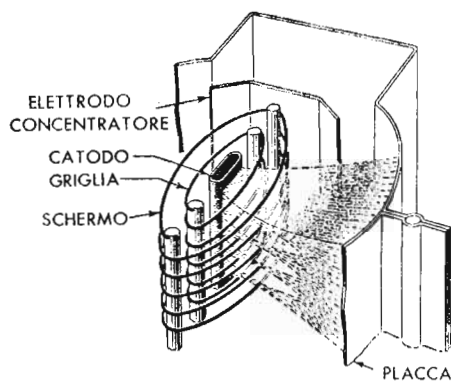



Fig. 10 — Particolari costruttivi di una valvola a fascio elettronico. È illustrato l'effetto concentratore dell'apposito elettrodo sul flusso elettronico.

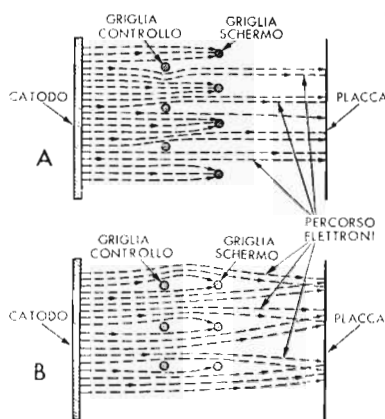



Fig. 11 — La diversa posizione della griglia controllo e di quella schermo nel tetrodo (A) e nelle valvole a fascio (B) porta a varianti nella corrente di schermo e di placca.

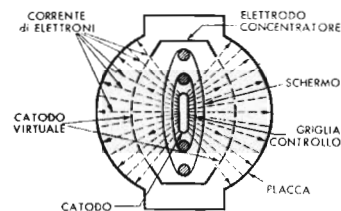



Fig. 12
Valvola a fascio, vista dall'alto del bulbo.

carico sono per $R_c = 0$ ohm, 30.000 ohm, 50.000 ohm e 100.000 ohm.

Nell'esame del comportamento dinamico di un triodo, abbiamo rilevato che è vantaggioso usare la valvola lungo il tratto rettilineo della sua curva caratteristica. È questa, una condizione essenziale onde ottenere una amplificazione priva di distorsioni. Si è inoltre constatato che, maggiore è il valore di R_c (resistenza di carico), maggiore è la fedeltà con cui la corrente anodica segue le variazioni della tensione di griglia. La figura 8 illustra appunto il contrario di tali condizioni nel caso del pentodo.

Infatti, più R_c è alto, meno le curve sono rettilinee. È evidente che quella corrispondente ad $R_c = 30.000$ ohm appare la più utile agli effetti pratici, ma neanch'essa risulta lineare in tutta la sua estensione. Aumentando il valore di R_c, aumenta in proporzione la non linearità.

I motivi per cui ciò accade sono chiaramente comprensibili esaminando la **figura 9**, che rappresenta una famiglia di curve sulla quale sono riportate le rette di carico corrispondenti ai vari valori di R_c.

Queste ultime possono essere iscritte in maniera molto semplice, sulle caratteristiche di tensione e corrente di placca, unendo tra loro due punti, uno sull'asse verticale (corrente anodica) ed uno sull'asse orizzontale (tensione anodica).

Il punto dell'asse verticale viene ricavato nel modo seguente. Dalla legge di ohm sappiamo che $I_b = E_b : R_c$, ossia, la corrente anodica che scorre attraverso R_c è data dalla caduta di tensione ai suoi capi, divisa per il suo valore ohmico. Di conseguenza, si possono ottenere varie rette di carico corrispondenti a vari valori di R_c.

Sull'altro asse, cioè quello orizzontale, il punto si ottiene applicando il valore di E_b adottato nel circuito. In tali condizioni non scorre corrente di placca nel circuito e quindi non appare caduta di tensione ai capi della resistenza di carico.

Le rette di carico della figura 9 intersecano le curve della corrente di placca sotto al ginocchio di ciascuna curva, col risultato di un cambiamento molto piccolo della corrente di placca allorchè viene ridotta la polarizzazione della griglia pilota.

Riducendo la tensione di schermo, E_{g2}, a circa un settimo o un decimo della tensione di alimentazione di placca, la pendenza dell'andamento della corrente di placca per bassi valori di tensione di placca diventa molto ripida. Ad esempio, con una tensione di schermo di 100 volt ($E_{g2} = 100$) ed una tensione alla griglia controllo $E_{g1} = 0$ volt, il gomito della curva della corrente di placca viene raggiunto con una tensione di alimentazione anodica di circa 40 volt (vedi figura 9). Se si riduce la tensione di schermo a 40 volt, si può raggiungere il medesimo punto con una tensione di placca di soli 16 volt. È possibile ottenere un analogo risultato per ogni valore della tensione di griglia pilota. Naturalmente, la riduzione della tensione di schermo porta ad una riduzione della corrente anodica, ma ciò ha spesso importanza secondaria di fronte a detto miglioramento delle caratteristiche ed al vantaggio che se ne può trarre.

VALVOLE a FASCIO ELETTRONICO

La valvola a fascio elettronico offre i vantaggi sia del tetrodo che del pentodo. Questa valvola si presta particolarmente agli impieghi con alti livelli di potenza elettrica, per applicazioni negli stadi d'uscita dei ricevitori e degli amplificatori, nonchè in diverse sezioni dei trasmettitori. La sua capacità di potenza è dovuta ad un sistema di concentrazione degli elettroni della corrente di placca in fasci di cariche mobili. Nelle valvole comuni, gli elettroni della corrente di placca si dirigono in una direzione predeterminata ma non sono costretti alla forma di fascio.

L'apparenza esterna di queste valvole è simile a quella dei comuni tetrodi o pentodi: si nota solamente una leggera maggiorazione delle dimensioni in quanto le valvole a fascio, come si è detto, sono chiamate a svolgere compiti connessi ad un impiego di potenza maggiore di quello che si ha di norma con le altre valvole.

I dettagli costruttivi di una valvola a fascio sono illustrati alla **figura 10**. Dalla figura non appare però chiaramente un particolare di notevole importanza: la griglia di controllo e la griglia schermo sono, per quanto riguarda i conduttori che le compongono, perfettamente allineate allo stesso livello. In altre parole, nei riflessi del flusso di elettroni della corrente di placca, si ha, sulla stessa linea direttiva, l'ostacolo ripetuto delle due griglie.

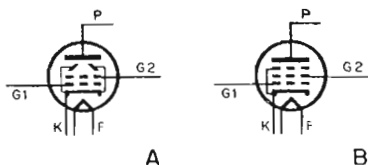



Fig. 13 — **Simboli schematici di valvola a fascio nel tipo adottante placchette di deviazione (A) e nel tipo con griglia apposita (B).**

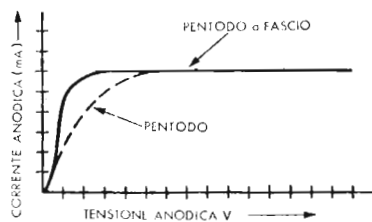



Fig. 14 — **Confronto tra la curva di due pentodi di cui uno a fascio. Per quest'ultimo, si ha un tratto di maggiore indipendenza della corrente di placca dalla tensione relativa, da cui minore distorsione data la più ampia possibilità di escursione del potenziale di griglia.**

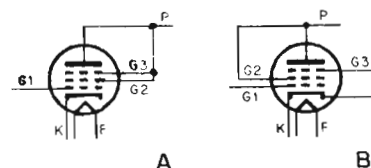



Fig. 15 — **I pentodi, possono essere utilizzati anche come triodi: in A, in seguito al collegamento dello schermo e del soppressore alla placca, in B, con il collegamento del solo schermo alla placca, mentre il soppressore è unito al catodo.**

Per meglio illustrare questo particolare ci riferiamo alla **figura 11.** In **A** vediamo come i conduttori costituenti la griglia schermo e la griglia di controllo influiscono sul percorso degli elettroni in una valvola comune di tipo tetrodo. Questi conduttori sono allineati in modo sfalsato gli uni rispetto agli altri: pertanto, gli elettroni che passano attraverso la griglia controllo sono parzialmente deviati dal loro percorso ed una parte raggiunge la griglia schermo. Ciò dà luogo ad una corrente di schermo, il che limita il valore della corrente di placca.

In **B** i risultati sono differenti a causa della sistemazione delle due griglie; lo schermo intercetta meno elettroni. Di conseguenza, la relativa corrente di schermo è minore nella valvola a fascio che non nei comuni tetrodi e pentodi. Inoltre, un maggior numero di elettroni raggiunge la placca, da cui una corrente di placca più elevata.

Gli effetti sommati derivanti dalla sistemazione illustrata in B, portano ad una valvola nella quale la placca e la griglia di controllo sono isolate elettricamente; la corrente di placca è alta, la resistenza di placca è relativamente bassa, ed un notevole ammontare di potenza elettrica può essere controllato con bassa distorsione. Le placchette di formazione del fascio (figura 10) inoltre, influenzano il movimento degli elettroni della corrente di placca nel momento in cui essi attraversano lo schermo e colpiscono la placca. Gli elettrodi di formazione del fascio sono collegati, internamente, al catodo e di conseguenza sono allo stesso potenziale di quest'ultimo.

A causa di detto potenziale delle placchette di formazione, si sviluppa, nello spazio tra lo schermo e la placca, un effetto equivalente ad una carica spaziale. L'effetto equivale alla presenza di una superficie (linee tratteggiate unenti tra loro i punti terminali delle placchette di formazione del fascio, in **figura 12**) tra lo schermo e la placca. Questa superficie viene chiamata **catodo virtuale**. La presenza di questo piano elettrico respinge gli elettroni secondari liberati dalla placca e impedisce loro di raggiungere lo schermo. La figura 12 appunto rappresenta una valvola a fascio vista dalla sommità del bulbo.

In alcune valvole, l'effetto del catodo virtuale viene ottenuto impiegando una terza griglia in luogo delle placchette di formazione del fascio. I risultati sono eguali per entrambe le versioni. Per poter distinguere i due tipi di costruzione, si adottano due simboli schematici diversi (**figura 13**). Il disegno riprodotto in **A** è il simbolo della valvola di potenza con placchette di formazione, mentre quello in **B** rappresenta la versione secondo la quale una griglia sostituisce le placchette di formazione del fascio. Come si vede, non vi è differenza tra il simolo di cui alla figura 13-B e quello di un comune pentodo (figura 5-B).

Si può osservare un utile confronto, alla **figura 14**, tra la caratteristica corrente di placca-tensione di placca di una valvola a fascio e di un comune pentodo. Si noti il rapido aumento nella corrente di placca per la valvola di potenza a fascio, il cui andamento di corrente corrisponde alla curva a tratto intero. L'aumento più graduale che caratterizza il pentodo normale, illustrato dalla curva a linea tratteggiata, rappresenta un particolare importante nei riguardi della capacità di potenza entro una bassa distorsione. La curva a tratto intero mostra che la zona in cui la corrente di placca dipende in modo importante dalla tensione di placca è molto più limitata di quella riferita all'altra curva: la corrente di placca diventa sostanzialmente indipendente dalla tensione, a valori molto più bassi del potenziale di placca.

Questa caratteristica consente alla valvola di potenza a fascio, un regime più elevato di potenza elettrica a valori più bassi di tensione di placca che non quelli necessari ad un comune pentodo. In più, la valvola a fascio genera minore distorsione del pentodo di tipo corrente perchè consente una maggiore escursione del potenziale alternato di griglia e dei cambiamenti della corrente di placca.

PENTODI IMPIEGATI come TRIODI

Diversi tipi di pentodo sono progettati e costruiti in modo da poter essere usati come triodi; ciò, in tal caso, costituisce motivo di particolare annotazione sui manuali delle valvole che riportano le caratteristiche. Dal punto di vista generale, la identità del pentodo, allorchè la valvola viene collegata come triodo, è persa. Quando si adotta questa sistemazione la valvola assume le caratteristiche dei triodi, che sono quelle illustrate alla lezione 46ª.

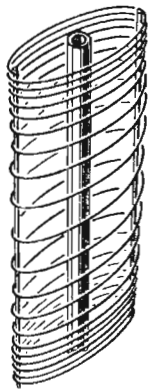
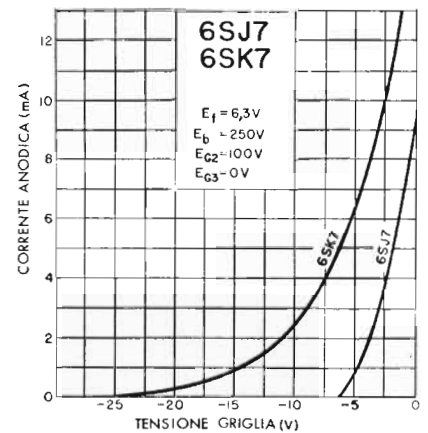



Fig. 16 — Caratteristica costruzione della griglia di una valvola a coefficiente di amplificazione variabile. Le spire sono diradate al centro e raggruppate ai due estremi.

Fig. 17 — Confronto tra la curva di un pentodo normale (6SJ7) e quella di un pentodo a μ variabile (6SK7): quest'ultimo ammette una tensione di griglia molto più ampia e l'andamento è assai più graduale.

La predisposizione del triodo può essere ottenuta in modi diversi, come è illustrato, per i casi più correnti, in A e in B della **figura** 15. Come si vede, in **A**, la griglia schermo e la griglia di soppressione sono collegate alla placca; in **B**, il catodo è connesso alla griglia di soppressione e la griglia schermo è collegata alla placca.

VALVOLE a COEFFICIENTE di AMPLIFICAZIONE VARIABILE

È già stato detto che il fattore di amplificazione, o μ di una valvola è una funzione della geometria della valvola stessa; vale a dire del profilo, della struttura e della sistemazione meccanica degli elettrodi. In determinate condizioni di funzionamento si possono verificare leggere varianti nel suo valore ma, per tutti gli scopi pratici, si può considerare sostanzialmente costante il μ della valvola. Per questo, per ciascun tipo di valvola è dato un singolo valore di μ che si presume fisso.

Il fattore di amplificazione di una valvola esprime — come sappiamo — la relazione tra il punto di interdizione della corrente di placca e la tensione negativa di griglia allorchè viene applicato un valore fisso della tensione di placca. Vale a dire, quando il segnale entrante, e_g, è reso sufficientemente negativo, la corrente di placca, i_p, è zero e la tensione di alimentazione anodica, E_b, equivale ad e_p. Ciò è stato visto e detto nei riferimenti della figura 9.

Valvole ad alto fattore di amplificazione quali i tetrodi ed i pentodi, specialmente questi ultimi, raggiungono il punto di interdizione della corrente di placca a valori di tensione negativa di griglia relativamente bassi. Le valvole a basso μ ammettono invece tensioni negative di griglia più alte, prima che venga raggiunto il punto di interdizione.

Le suddette relazioni tra la corrente di placca e la tensione di griglia, nonchè la costante fissa del μ sono conseguenza del tipo di struttura adottato in tutte le valvole elettroniche di cui si è sin qui parlato. Tutto questo deriva dalla spaziatura uniforme delle spire di griglia, lungo tutta l'altezza della struttura, il che significa che, applicando una tensione alla griglia di controllo, si ha lo stesso effetto sugli elettroni della corrente di placca lungo tutti i conduttori costituenti la griglia stessa.

La particolare situazione del μ fisso pone un problema quando vengono usati nei ricevitori per telecomunicazioni valvole ad alto μ come i tetrodi e i pentodi. Assai spesso si è in presenza di segnali di elevata ampiezza, segnali che devono essere controllati nell'apparecchiatura al fine di pervenire al risultato richiesto con un minimo di distorsione. Per ottenere ciò si fa ricorso a speciali tipi di tetrodi e di pentodi. Essi sono noti come **valvole a μ variabile** e differiscono dalle altre valvole per quanto riguarda la costruzione della griglia controllo. Infatti, in queste valvole, i conduttori costituenti la griglia sono tra loro spaziati in modo non uniforme. Le spire sono più serrate nella parte alta e nella parte bassa e, per contro, risultano molto più spaziate in centro (vedi **figura** 16). Questa forma di griglia consente la costruzione di una valvola che non ha un μ costante; esso infatti varia a seconda del valore della tensione di griglia applicato. Ecco come si perviene a questa caratteristica.

A valori bassi di polarizzazione di griglia, questa funziona in modo normale. Però, allorchè la tensione negativa di polarizzazione aumenta, l'effetto delle spire raggruppate diventa maggiore, e il flusso degli elettroni nella zona corrispondente viene annullato. Anche la zona centrale della griglia, per l'aumentata tensione di polarizzazione, agisce maggiormente, ma consente tuttavia sempre un passaggio di elettroni verso lo schermo e la placca. La riduzione complessiva nei riguardi della corrente di placca è quindi graduale. Naturalmente, se necessario, si può pervenire ad una tensione negativa di griglia tale da annullare completamente la corrente di placca: tuttavia, la tensione negativa richiesta per ciò è da tre a quattro volte superiore a quella di una valvola normale funzionante alle stesse tensioni di schermo e di placca.

La caratteristica, corrente di placca-tensione di griglia di una valvola a μ variabile, 6SK7, è riportata alla **figura 17** dove appare anche, per il confronto, la curva corrispondente di un pentodo normale tipo 6SJ7.

I tetrodi e i pentodi a μ variabile vengono usati frequentemente nelle apparecchiature di ricezione dove possono necessitare alte tensioni di polarizzazione per controllare il livello del segnale.

ALIMENTATORI SPECIALI

REGOLATORI di TENSIONE

Per regolatore di tensione si intende un dispositivo che mantiene costante la tensione erogata da un alimentatore, nonostante le eventuali variazioni della tensione di entrata o dell'assorbimento da parte del carico. I regolatori elettronici vengono comunemente impiegati unitamente alle unità rettificanti, vale a dire ai circuiti di alimentazione.

Il regolatore in se stesso si comporta come una resistenza variabile in serie all'uscita, che, essendo contemporaneamente in serie al carico, forma con questo un partitore di tensione. La prima parte di un tale partitore può variare in modo da mantenere costante la d.d.p. ai capi della seconda. La **figura 1** illustra lo schema di principio; la resistenza semifissa *R* ed il carico formano il partitore di cui si è detto, collegato all'uscita del filtro. L'intera corrente circolante, che passa attraverso *R*, determina ai suoi capi una caduta di tensione. Se la tensione d'uscita proveniente dal filtro aumenta — a causa di un aumento sia della tensione di alimentazione sia della resistenza di carico — anche il valore di *R* deve essere aumentato, in modo che ai suoi capi si abbia una maggiore caduta, così da mantenere sempre costante la tensione applicata al carico stesso. Viceversa, *R* deve diminuire — per il medesimo motivo — se la tensione di alimentazione o la resistenza di carico diminuiscono.

In altre parole, se la tensione indicata dal voltmetro *V* aumenta, *R* deve aumentare, e viceversa. Tale provvedimento è quello che si verifica automaticamente appunto nei regolatori di tensione. È quindi necessario tener presente che questi dispositivi sono essenzialmente dei partitori di tensione con una parte fissa ed una variabile e che con essi la parte variabile può essere realizzata in vari modi, come vedremo in seguito.

Regolatori del tipo « Amperite »

Uno dei regolatori più elementari è il tipo detto « Amperite » o « a ferro-idrogeno », costituito da un conduttore di ferro racchiuso in un bulbo in cui si trova idrogeno o elio.

Il circuito di principio è illustrato dalla **figura 2**. La resistenza del filamento di ferro in questo dispositivo dipende dalla quantità di corrente che la percorre: infatti, se la corrente aumenta, aumenta la temperatura del filamento e quindi la sua resistenza. La possibilità di far variare quest'ultima si traduce nella possibilità di variare la tensione d'uscita presente ai capi del carico. Quando la tensione d'uscita del raddrizzatore (e quindi del filtro) subisce un aumento, la corrente che circola assume una intensità maggiore: ciò provoca un aumento di temperatura del filamento e quindi della sua resistenza, col risultato di una maggiore caduta di tensione ai suoi capi. Se la tensione invece diminuisce, ovviamente avviene il contrario. Da ciò si deduce che la tensione presente ai capi del carico resta costante.

È da notare che questo tipo di regolatore non agisce se avvengono variazioni nel carico. Infatti, se la resistenza di quest'ultimo diminuisce mentre la tensione fornita resta costante, aumenta la corrente che passa attraverso il filamento « ferro-idrogeno », per cui aumenta la sua temperatura, e di conseguenza, la stessa caduta di tensione ai suoi capi: in tal caso la tensione applicata al carico diminuisce anzichè rimanere costante.

Sebbene questo tipo di lampada venga usato a volte come regolatore *di tensione*, esso viene più comunemente impiegato in serie ai circuiti di accensione del filamento di altre valvole, allo scopo di mantenere costante *la corrente* nonostante le eventuali variazioni nella tensione fornita dal circuito di alimentazione.

Regolatori con valvole a gas

Le lampade a gas, che per alcuni tipi vengono dette valvole al neon, hanno la proprietà di offrire alla corrente una resistenza infinita (circuito aperto), finchè la tensione applicata agli elettrodi non raggiunge un valore critico. Tale valore determina la ionizzazione del gas rarefatto contenuto nel bulbo.

In seguito a ciò, è possibile un passaggio di corrente, che è tanto più grande quanto maggiore è il grado di ionizzazione.

Poichè la ionizzazione stessa è proporzionale alla tensione applicata, è ovvio che ad ogni aumento di quest'ultima corrisponde un aumento della corrente assorbita dalla valvola al neon.

La **figura 3-A** illustra lo schema di principio di un regolatore di tensione funzionante con valvola a gas. Quan-

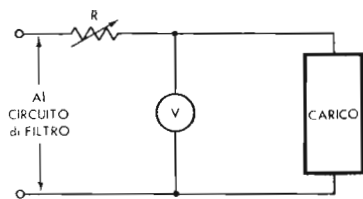
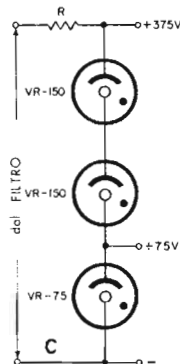
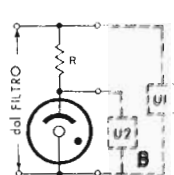
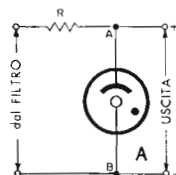



Fig. 1 — La resistenza R ed il carico formano un partitore di tensione: variando R, si può fare in modo che aumenti e diminuzioni della fonte vengano compensati per mantenere costante la tensione

Fig. 2 — Qui R è rappresentata da una lampada « Amperite » che varia la sua resistenza in rapporto alla corrente che la percorre, per cui si oppone alle variazioni della tensione entrante.

Fig. 3 — Applicazioni di valvole a gas. In A, uscita stabilizzata grazie al diverso grado di assorbimento della lampada in dipendenza della tensione. In B, uscita stabilizzata e non. In C, due uscite stabilizzate.

do il gas in essa contenuto è ionizzato a causa della d.d.p. tra gli elettrodi, la valvola, come si è detto, conduce corrente di intensità variabile proporzionalmente alle piccole variazioni di tensione. Quando la corrente è notevole, la ionizzazione è altrettanto elevata, e la resistenza interna della lampada diventa bassa. Viceversa, col diminuire della corrente aumenta la resistenza della lampada. La valvola si comporta quindi come la resistenza variabile della figura 1: la caduta di tensione IR presente ai suoi capi resta praticamente costante per tutti i valori di tensione ai quali la valvola può funzionare, ossia dalla tensione minima di ionizzazione, alla massima.

Nello schema della figura 3-A, sia la corrente del carico che quella della lampada a gas scorrono attraverso la resistenza R; se la tensione di alimentazione diminuisce, la tensione ai capi della valvola tende a diminuire, ma la corrispondente diminuzione del suo grado di ionizzazione ne aumenta la resistenza interna, per cui diminuisce la corrente che la percorre. Ciò fa diminuire la corrente totale, che passa attraverso R, e quindi la caduta di tensione ai suoi capi. Si può facilmente dedurre che, grazie alla compensazione da parte della valvola regolatrice, la tensione presente in uscita rimane costante nonostante le variazioni sia del carico, sia della tensione di alimentazione.

Le valvole a gas del tipo VR75, VR105, VR150, ecc. contengono gas differenti, per cui funzionano con varie tensioni: le lettere *VR* (« voltage regulator ») indicano il compito della valvola che, come dicono le parole stesse, consiste nel regolare la tensione, mentre il numero che segue indica la tensione massima che può essere applicata.

Nella figura 3-**B**, con U_1 è rappresentata un'uscita non stabilizzata, e con U_2 un'uscita a tensione inferiore, ma stabilizzata. Il circuito della figura 3-**C** è invece basato su tre valvole al neon, collegate tra loro in modo da ottenere due diversi potenziali, entrambi stabilizzati.

Regolatori con valvola elettronica

Una valvola termoionica, come ad esempio un triodo, può essere considerata una resistenza variabile. Quando conduce corrente, la sua resistenza può essere espressa dal rapporto tra la tensione o d.d.p. presente tra il catodo e la placca e la corrente anodica: detta corrente è proporzionale alla resistenza di placca della valvola stessa. Per ogni data tensione di placca, la resistenza dipende dalla corrente, la quale, a sua volta, dipende dalla tensione del terzo elettrodo, ossia dalla griglia presente tra la prima ed il catodo, il cui compito è — come sappiamo — di controllare la corrente elettronica che passa attraverso le sue maglie.

La resistenza variabile R della figura 1 può essere sostituita da una valvola, come è illustrato dalla **figura 4**. In tal caso, il valore della resistenza effettiva di V_1 dipende dalla polarizzazione della griglia. Quando la tensione d'uscita è applicata al carico, il catodo della valvola è positivo rispetto a massa con una d.d.p. pari a E_1, e la griglia viene polarizzata mediante la regolazione di R_2 in modo che la corrente che circola abbia il valore desiderato. Tale regolazione permette dunque di mantenere costante la tensione del carico al valore voluto. Dal momento che il catodo della valvola regolatrice ha un potenziale positivo, la griglia deve avere un potenziale leggermente inferiore. In tal caso, la griglia, essendo negativa rispetto al catodo, può controllarne l'emissione elettronica respingendo una parte degli elettroni, anch'essi negativi.

Se la tensione d'uscita proveniente dal filtro aumenta, la tensione del catodo tende a anch'essa ad aumentare, mentre il potenziale di griglia, fornita dalla batteria, resta costante. Ne consegue un aumento della polarizzazione di griglia nei confronti del catodo: la corrente diminuisce e la resistenza di placca aumenta, col risultato che la caduta di tensione presente tra catodo e placca aumenta, mantenendo costante la tensione d'uscita.

Se il circuito è realizzato in modo appropriato, la compensazione è tale da annullare, o comunque da rendere trascurabili, le eventuali variazioni della tensione di ingresso e della resistenza del carico: infatti, se quest'ultima diminuisce provocando un maggior assorbimento di corrente, la tensione d'uscita tende anch'essa a diminuire.

Ciò provoca una diminuzione della tensione del catodo. In tal modo diminuisce la polarizzazione della griglia rispetto a quest'ultimo: la resistenza di placca diminuisce e la tensione d'uscita aumenta compensando la diminuzione iniziale.

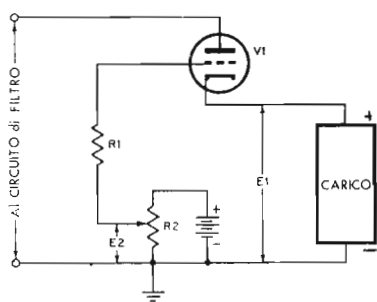



Fig. 4 — **La resistenza R di figura 1 può essere sostituita da una valvola il cui valore resistivo tra placca e catodo dipende dalla polarizzazione di griglia.**

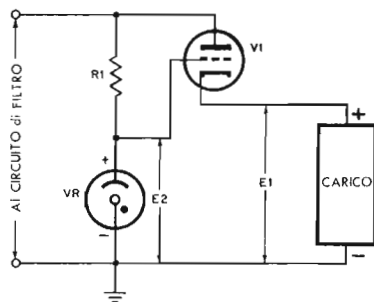



Fig. 5 — **Il potenziale di griglia deve essere mantenuto costante, per cui, per eliminare la batteria di cui allo schema a fianco, si può utilizzare una valvola a gas.**

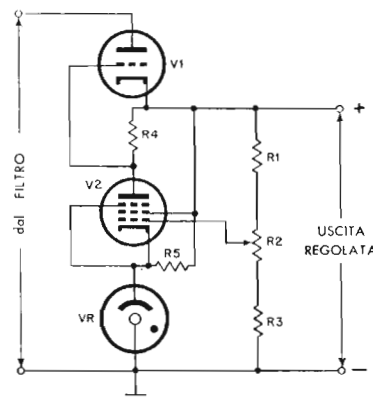



Fig. 6 — **Perfezionamento dei circuiti di regolazione sin qui esaminati.**

La resistenza R_1 limita la corrente di griglia quando l'alta tensione di ingresso al regolatore è interdetta a causa del potenziale di griglia costantemente positivo rispetto al catodo, fornito dal circuito a batteria. Quando ciò si verifica, tutti gli elettroni emessi vengono attratti dalla griglia stessa in quanto viene a mancare il potenziale di placca. La batteria può essere sostituita da una valvola a gas (**figura 5**) che mantiene costante il potenziale di griglia. In questo caso, il suo funzionamento è analogo a quello descritto per la figura 4. La tensione di griglia viene fornita dalla caduta di tensione (costante) presente ai capi di *VR*.

Regolatore a valvola elettronica perfezionato

Il circuito illustrato in **figura 6** rappresenta un perfezionamento dei circuiti di cui ci siamo ora occupati. Esso consente di ottenere una stabilizzazione notevole, grazie alla forte amplificazione da parte del pentodo V_2, la quale aumenta la sensiblità dell'assieme nei confronti della compensazione di piccole variazioni di tensione. Le tensioni stabilizzate e regolate, disponibili in uscita, sono perciò notevolmente indipendenti dalle variazioni della tensione di ingresso o della resistenza interna del carico.

La tensione regolata d'uscita si manifesta ai capi delle resistenze in serie R_1, R_2, R_3. Esse costituiscono parte di un divisore di tensione; la parte restante è rappresentata dalla resistenza interna (tra l'anodo ed il catodo) di V_1, attraverso la quale deve passare tutta la corrente che circola nel carico. Tutti gli altri componenti del circuito controllano la resistenza interna di V_1 al fine di mantenere costante la tensione d'uscita.

La tensione presente sul catodo di V_1 viene applicata alla placca del pentodo V_2 attraverso R_4. Il catodo di V_2 resta ad un potenziale positivo costante grazie alla presenza della valvola al neon *VR*. La quantità di corrente che percorre R_4, e la caduta di tensione presente ai suoi capi, vengono entrambe determinate dall'ammontare della polarizzazione della griglia di V_2. Questa tensione è ottenuta attraverso il partitore: il valore esatto viene determinato regolando il potenziometro R_2. Quest'ultimo viene infatti regolato in modo tale che la polarizzazione applicata alla griglia di V_2 consenta, attraverso alla valvola, il passaggio di una intensità di corrente prestabilita.

R_4 è collegata tra la griglia ed il catodo di V_1; la corrente che la percorre sviluppa ai suoi capi una caduta di tensione che costituisce la polarizzazone della griglia V_1 stessa. Di conseguenza, la posizione del cursore di R_2 determina l'intensità di corrente che circola nella valvola e stabilisce la resistenza interna di V_1 onde assicurare in uscita la tensione desiderata.

Se la tensione al carico tende ad aumentare — in seguito, sia ad un aumento della tensione proveniente dal filtro, che ad un aumento della resistenza del carico — la polarizzazione della griglia di V_2 diminuisce. Infatti — in tal caso — ai capi di R_2 si manifesta una tensione positiva maggiore. In tali condizioni il potenziale del catodo di V_2 resta praticamente costante grazie all'azione di regolazione da parte di *VR*. V_2 conduce quindi una corrente più intensa, essendo diminuita la polarizzazione di griglia. Questa maggiore corrente attraverso R_4 determina ai suoi capi una tensione maggiore la quale — come abbiamo detto — costituisce appunto la polarizzazione di V_1: di conseguenza, attraverso quest'ultima passa una corrente minore, e tra placca e catodo della stessa si ha una tensione maggiore. La tensione applicata al carico resta quindi costante.

Il fenomeno si inverte in caso di diminuzione della tensione proveniente dal filtro o dalla resistenza interna del carico.

L'anodo della valvola al neon (*VR*) è collegato alla linea ad uscita regolata (polo positivo) attraverso R_5. Questo collegamento è necessario per dar luogo alla ionizzazione non appena viene applicata la tensione. R_5 determina la tensione di funzionamento di *VR* e, in aggiunta, limita la corrente che la percorre.

Poichè tutta la corrente che circola nel carico deve passare attraverso V_1, la stessa deve poter consentire il passaggio di una corrente elevata. In alcune applicazioni, può accadere che una sola valvola non sia sufficiente: in questi casi è d'uso collegarne in parallelo due o più, eguali tra loro.

STABILIZZATORI di TENSIONE

Nonostante l'analogia tra i due dispositivi, lo stabilizzatore di tensione compie una funzione leggermente

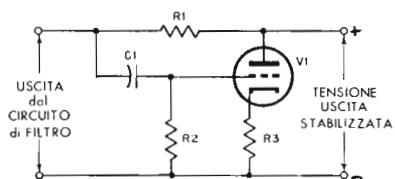



Fig. 7 — Schema di principio di uno stabilizzatore elettronico. La valvola è in parallelo all'uscita e assorbe una quantità di corrente che dipende dalla sua polarizzazione: quest'ultima è influenzata dalle eventuali rapide variazioni di tensione entrante, e la valvola compensa l'effetto.

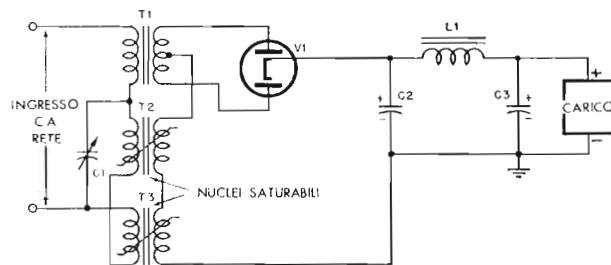
Fig. 8 — Stabilizzazione della tensione con l'impiego di trasformatori (T_2 e T_3) a ferro saturabile. Il loro effetto agisce sulla tensione che si presenta ai capi del primario di T_1 che è il trasformatore normale di alimentazione.

diversa da quella del regolatore di tensione. Lo stabilizzatore, infatti, non effettua un'azione di controllo sulla tensione d'uscita, bensì sopprime qualsiasi componente alternata o fluttuazione (variazione di ampiezza) che si sovrappone alla tensione continua erogata.

Il circuito di **figura 7** è lo schema di principio di uno stabilizzatore. La corrente totale proveniente dal filtro scorre attraverso R_1. La valvola è collegata in parallelo all'uscita. e da questa assorbe una quantità di corrente dipendente dal valore di R_3. La caduta di tensione presente ai suoi capi costituisce infatti la polarizzazione della griglia e — di conseguenza — la caratteristica di funzionamento. Qualsiasi componente alternata che si presenti ai capi del circuito, sceglie — come è noto — il percorso che presenta la minima impedenza, costituito in questo caso da C_1, e la valvola non ne viene influenzata. Per contro, le eventuali variazioni repentine ed i transistori, raggiungono la griglia di V_1, e fanno in modo che la valvola assorba una corrente più intensa. Quest'ultima aumenta la caduta di tensione ai capi della resistenza, e neutralizza l'aumento di tensione causato dalla fluttuazione che si sovrappone alla tensione continua. In tal caso, la tensione d'uscita resta relativamente costante.

Una sequenza analoga — seppure in senso inverso — si verifica allorchè la polarità della tensione transitoria è negativa. La caduta di tensione ai capi di R_1 diminuisce proporzionalmente, e la tensione d'uscita mantiene costante il suo valore.

Stabilizzatori con trasformatore a ferro saturo

Quando la corrente che percorre un'induttanza o un trasformatore aumenta, l'intensità del campo magnetico aumenta anch'essa, fino ad un punto critico oltre il quale non può più aumentare a causa della permeabilità limitata del nucleo. In tali condizioni questo ultimo è « saturo », ed il campo magnetico assume una intensità costante. Qualsiasi ulteriore aumento della corrente che percorre l'avvolgimento ha un effetto minimo sul campo magnetico o sulla tensione indotta d'uscita. Si verifica che, allorchè il nucleo è saturo, l'impedenza della bobina ha un valore ridotto. Questo fenomeno di saturazione, che abbiamo esaminato a suo tempo, può essere sfruttato per ottenere una regolazione di tensione.

La **figura 8** illustra uno dei circuiti più semplici mediante i quali è possibile stabilizzare una tensione a mezzo di un trasformatore a ferro saturo. Il trasformatore di alimentazione è T_1. I trasformatori T_2 e T_3 sono invece i trasformatori regolatori a nucleo saturabile. Ai capi del primario di T_2 e di T_3 è collegata una capacità variabile C_1, che completa un circuito sintonizzato. Quest'ultimo è in serie al primario di T_1, ed il circuito in serie così costituito si trova ai capi dell'ingresso a corrente alternata. Di conseguenza, solo una parte della tensione di linea è presente ai capi del primario di T_1, mentre il resto è presente sotto forma di caduta di tensione ai capi del circuito sintonizzato. I primari di T_2 e T_3 sono connessi tra loro in modo che le tensioni presenti ai loro capi siano rispettivamente sfasate di 180°. Se i relativi secondari sono collegati in serie con la polarità appropriata, la tensione « somma » è zero. Ciò evita che T_2 e T_3 introducano nel trasformatore di alimentazione variazioni di corrente alternata. Il secondario di T_1 è provvisto di presa centrale (per la doppia rettificazione) collegata in serie ai secondari di T_2 e di T_3.

Questo circuito consente di prevenire qualsiasi diminuzione della tensione continua di uscita determinata da un aumento della corrente del carico proveniente dall'alimentatore. Poichè i secondari di T_2 e T_3 sono collegati in serie al carico, un aumento della corrente attraverso quest'ultimo corrisponde ad un aumento di corrente attraverso i secondari stessi. Tale aumento porta i nuclei dei trasformatori al punto di saturazione, diminuendo la reattanza induttiva dei primari relativi. Dal momento che la reattanza induttiva è direttamente proporzionale all'induttanza, il valore induttivo del circuito sintonizzato diminuisce, e la sua frequenza di risonanza aumenta. Tale aumento diminuisce praticamente l'impedenza del circuito sintonizzato. Ne consegue che la caduta di tensione presente ai capi del circuito sintonizzato diminuisce, per cui ai capi del primario di T_1 si presenta una tensione più elevata. In conseguenza di ciò, la sezione rettificatrice fornisce una tensione maggiore, compensando la caduta di tensione provocata dall'aumento della corrente del carico. Variando la capacità del circuito sintonizzato, è possibile variare la tensione di ingresso del trasformatore

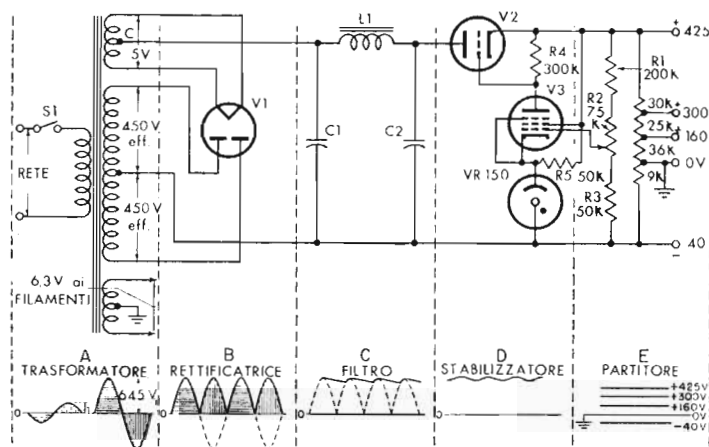



Fig. 9 — Alimentatore completo con tensioni anodiche d'uscita stabilizzate e regolate. La sezione di stabilizzazione è eguale a quella già illustrata a figura 6. In basso, in corrispondenza delle diverse sezioni, sono riportate le forme d'onda relative. Un alimentatore analogo, ma dotato di più complete caratteristiche, è argomento principale della 51ª lezione.

T_1, variando in conformità la tensione continua d'uscita. Il controllo di quest'ultima può essere effettuato rendendo variabile la capacità C_1.

REGOLAZIONE MEDIANTE AUTOTRASFORMATORE

Se si predispone un autotrasformatore all'ingresso di alimentatore si ha la possibilità di portare la tensione applicata ad un valore maggiore o minore, a seconda della necessità. Naturalmente, per aver modo di intervenire anche con leggere variazioni, l'autotrasformatore in questione deve essere costruito appositamente, in modo da consentire all'operatore (l'operazione non è automatica ma, bensì, manuale) una comoda manovra.

Dispositivi del genere sono correntemente in commercio (anche per potenze superiori al chilowatt) e tra essi citeremo i « variac » ed i « powerstat ». In essi si ha un cursore, solidale con una manopola, che, spostato, rende possibile una variazione continua della tensione da zero volt al valore massimo di controllo.

Una variante, più economica, al sistema sopracitato, consiste in un autotrasformatore con numerose prese intermedie. La funzione è eguale, ma non si ha una variazione assolutamente continua, bensì a scatti. Ogni presa fa capo al contatto di un commutatore il cui cursore è solidale con la manopola di regolazione.

Se la tensione primaria applicata al trasformatore di alimentazione dell'apparecchiatura che deve essere alimentata in modo stabile, diminuisce oltre un determinato valore, (il controllo è visivo, a mezzo di un voltmetro) l'autotrasformatore può essere regolato in modo da aumentare la tensione stessa fino al valore desiderato, e viceversa.

Si hanno anche realizzazioni apposite nelle quali questi interventi si verificano automaticamente grazie a dispositivi elettromeccanici (relais) che, opportunamente tarati, provvedono alle necessarie commutazioni.

ALIMENTATORI COMPLETI

La **figura 9** illustra il circuito di un alimentatore atto ad erogare una tensione anodica regolata e stabilizzata. Esso consta di un rettificatore a due semionde, di un filtro, di un circuito elettronico di regolazione, e di un divisore di tensione. Questo assieme è tipico, e, se si presenta la necessità di applicare ulteriori dispositivi di filtraggio, è possibile aggiungere, dopo C_2, ulteriori « cellule ». I valori dei componenti del filtro possono differire da quelli illustrati, senza peraltro alterare il funzionamento del circuito.

Riferiamoci alla figura 9: la tensione d'ingresso al primario del trasformatore è quella disponibile di rete. Il trasformatore è provvisto di tre secondari di cui due a bassa tensione (per l'accensione della raddrizzatrice e per l'accensione delle altre valvole associate all'apparecchiatura da alimentare) ed uno ad alta tensione. Quest'ultimo fornisce 1.200 volt di picco, corrispondenti a 900 volt efficaci. La presa centrale divide l'alta tensione disponibile in due parti, ciascuna delle quali ammonta a 450 volt efficaci. Da essa viene prelevato il polo negativo della tensione rettificata da V_1. Il polo positivo corrisponde invece alla presa centrale dell'avvolgimento di accensione di V_1. Detta presa fa in modo che la corrente che percorre le due sezioni del doppio diodo si divida in parti eguali tra i due conduttori del filamento.

Il funzionamento avviene come segue: allorchè l'interruttore S_1 è chiuso, la tensione di rete è applicata al primario del trasformatore (vedi forma d'onda piccola in A; la forma d'onda maggiore rappresenta la tensione secondaria elevata). Non ci dilunghiamo sul funzionamento della rettificatrice, già noto al lettore. Come sappiamo, all'uscita di questo stadio (ai capi di C_1) abbiamo una tensione pulsante continua, come illustrato in **B**. In pratica, tale sarebbe la forma degli impulsi in assenza di qualsiasi filtraggio, mentre invece la presenza di C_1 è già sufficiente da sola per livellare notevolmente le pulsazioni. La cellula di filtraggio C_1, L_1, C_2, trasforma la tensione rettificata come illustrato in **C**. La carica e scarica del condensatore di filtro provvede — come è noto — a livellare la tensione; il funzionamento di L_1 ci è altrettanto noto. Il circuito del regolatore di tensione rende costante la tensione d'uscita, anche se esistono variazioni nella tensione di ingresso o nelle caratteristiche del carico. La valvola V_2 è in serie al circuito d'uscita. La resistenza R_4, la valvola V_3 e la valvola al neon VR150 sono collegate in serie tra loro ai capi dell'uscita. *VR* mantiene il catodo di V_3 ad un potenziale costante rispetto a massa. La posizione del cursore di R_2 determina la polarizzazione della griglia di controllo di V_3. La corrente che passa attraverso R_4 stabilisce la tensione di polarizzazione di V_2 dalla quale dipende la sua resistenza interna.

Tutte queste condizioni hanno lo scopo di assicurare

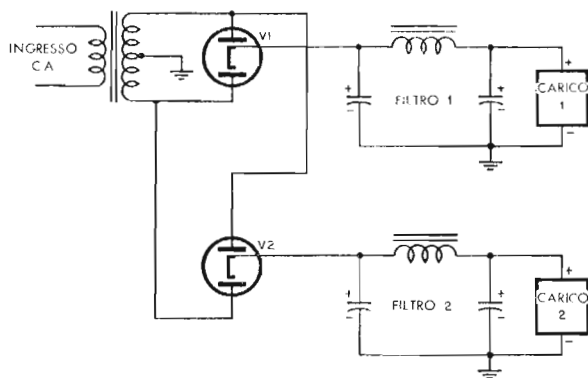



Fig. 10 — Utilizzando un solo trasformatore, si possono realizzare anche due distinti alimentatori.

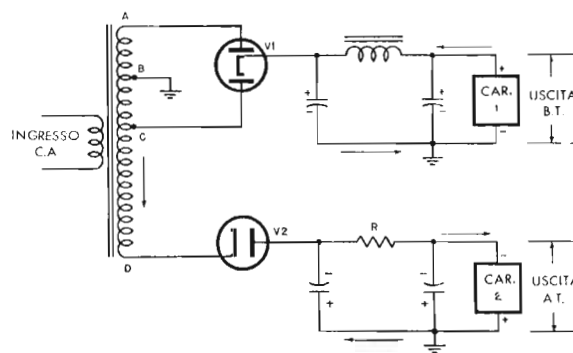



Fig. 11 — Altro abbinamento di due diversi alimentatori con impiego di trasformatore in comune.

la tensione desiderata ai capi del divisore di tensione.

Allorchè il carico assorbe una corrente maggiore di quella stabilita, la tensione fornita dall'alimentatore tende a diminuire. Ciò fa in modo che la polarizzazione negativa della griglia di V_3 aumenti, per cui, attraverso quest'ultima, passa una corrente minore. La corrente ridotta attraverso R_1 diminuisce la polarizzazione della griglia di V_2 e — di conseguenza — diminuisce anche la resistenza interna di quest'ultima. La caduta di tensione presente ai capi della valvola diminuisce, e la tensione d'uscita aumenta.

Se il circuito è progettato in modo appropriato, la riduzione della caduta di tensione ai capi di V_2 è sufficiente a compensare la riduzione della tensione d'uscita, per cui la tensione disponibile ai capi del carico rimane automaticamente la medesima.

Quando la tensione aumenta, si verifica una sequenza simile ma in senso opposto. In **D** è illustrata la forma d'onda della corrente che circola nel regolatore.

Il divisore di tensione, costituito da resistenze collegate ai capi dell'uscita dell'alimentatore, compie tre funzioni. Come zavorra, funziona da dispositivo di sicurezza per consentire ai condensatori di scaricarsi allorchè l'apparecchio viene spento. Come resistenza di carico, agisce da stabilizzatore per proteggere il regolatore di tensione allorchè nessun carico viene applicato, e contribuisce a migliorare la regolazione. Come divisore di tensione — infine — è munito di prese in vari punti, alle quali sono disponibili vari valori della tensione erogata dall'alimentatore. Il divisore può essere collegato a massa dal lato inferiore, oppure in qualsiasi altro punto avente un potenziale più alto lungo il suo percorso, per consentire la disponibilità di una tensione negativa — o di tensioni intermedie — tra massa ed il negativo dell'alimentazione. In **E** vengono ottenute tre uscite positive ed una negativa (—40 volt).

Combinazioni di alimentatori

Due o più alimentatori funzionanti col medesimo trasformatore di alimentazione ma indipendenti l'uno all'altro, possono essere uniti in un unico complesso. Gli alimentatori di questo tipo vengono usati nei casi in cui, per soddisfare particolari esigenze tecniche, sono necessarie due o più sorgenti indipendenti di tensione. Le tensioni d'uscita possono avere la medesima polarità, oppure polarità opposte. I valori delle tensioni erogate possono del pari essere eguali o differenti. Ad eccezione del trasformatore di alimentazione, sono ovviamente necessari componenti separati per le due unità di rettificazione e di filtraggio. È possibile usare un trasformatore del tipo standard, tuttavia esso deve avere caratteristiche tali da soddisfare le esigenze del particolare circuito di utilizzazione.

Normalmente, il trasformatore viene progettato per un funzionamento combinato in quanto è provvisto sia di avvolgimento addizionale per l'accensione delle raddrizzatrici, sia di prese sul secondario ad alta tensione, in conformità alle esigenze.

La **figura 10** illustra la combinazione di due alimentatori separati, facenti capo al medesimo trasformatore. La presa centrale dell'avvolgimento ad alta tensione consente la rettificazione delle due semionde in entrambi. Le tensioni rettificate presenti sui catodi delle valvole, convogliate a due circuiti separati che provvedono al filtraggio, proseguono alla volta di due carichi distinti. Entrambe sono polarizzate nel medesimo senso rispetto a massa, ed hanno un valore pressochè eguale. Grazie alla combinazione in parallelo delle placche, le due valvole funzionano all'unisono.

Un secondo esempio di combinazione è illustrato alla **figura 11**. In questo caso, V agisce da valvola rettificatrice a bassa tensione e fornisce al carico « 1 » una tensione positiva rispetto a massa (punto B del trasformatore di alimentazione). Nell'altra sezione del doppio alimentatore figura un alimentatore separato ad Alta Tensione che fornisce al carico « 2 » una tensione negativa rispetto a massa. Il secondario del trasformatore di alimentazione è un unico avvolgimento provvisto di varie prese. La presa B è a massa ed è in comune ad entrambi i circuiti. Essa costituisce il polo negativo per la tensione più bassa, ed il polo positivo per la più alta. A e C — presenti sempre nel medesimo avvolgimento — sono connesse alle due placche della rettificatrice V_1, e forniscono loro le due tensioni a fase opposta necessarie per la rettificazione delle due semionde.

Le sezioni del secondario limitate dalle varie prese, indicate con A, B e C funzionano come in qualsiasi altro secondario di tipo convenzionale, munito di presa centrale, come abbiamo visto nei comuni rettificatori.

Considerando l'altra sezione del secondario, notiamo che esiste una tensione tra il punto B e il punto D. L'ampiez-

Fig. 12 — Tre diversi alimentatori riuniti in un unico complesso. Uno fornisce 4.500 volt, un altro 300 volt ed il terzo 270 volt stabilizzati.

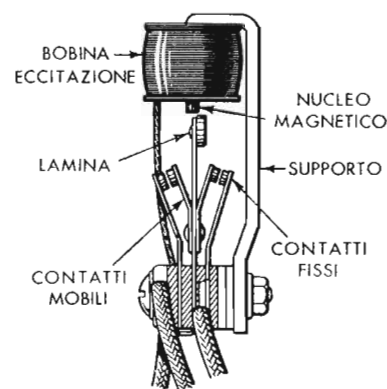
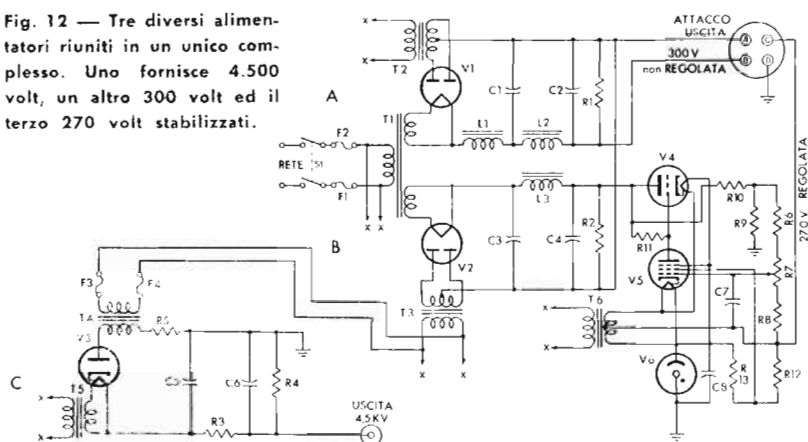



Fig. 13 — Caratteristico vibratore elettromagnetico: disposizione ed aspetto delle sue parti.

za di questa tensione dipende dal rapporto tra le spire primarie e quelle secondarie. Detta sezione fornisce una tensione più elevata da rettificare, ed è del tutto indipendente da V_1.

Il fatto che il punto *B* sia in comune, e negativo per la tensione più bassa, non porta alcuna conseguenza agli effetti della polarità dell'altra sezione. Essendo collegato a massa, il punto *B* può infatti avere qualsiasi polarità.

L'avvolgimento compreso tra *B* e *D* fornisce alla valvola V_2 la tensione da rettificare, e la tensione presente tra questi due punti viene rettificata — come sappiamo — in una sola semionda. La cellula di filtraggio, costituita dalla resistenza *R* e dai due condensatori il cui polo positivo è collegato a massa, livella la tensione fornita al carico « 2 ».

In tal modo, i due alimentatori funzionano indipendentemente l'uno dall'altro, e rendono disponibili due tensioni di valore e di polarità diversa. Il valore delle tensioni dipende dal rapporto tra le spire. La polarità — invece — dipende dalla disposizione del circuito. Ad esempio, se la valvola rettificatrice V_2 venisse invertita, ossia avesse la placca collegata al punto *D* ed il catodo al primo condensatore della cellula filtrante, la polarità della tensione applicata al carico « 2 » sarebbe invertita. In altre parole, il punto *B* sarebbe negativo anche nei confronti della tensione più alta.

Applicazioni di alimentatori combinati

La possibilità di combinare vari circuiti di alimentazione consente la realizzazione di vari tipi di alimentatori più o meno complessi. La **figura 12** illustra appunto il circuito di un alimentatore atto a compiere tre funzioni in quanto fornisce diverse tensioni a tre diversi circuiti. Le uscite (tutte positive verso massa) sono costituite da 300 volt non regolati, 270 volt regolati e 4.500 volt non regolati. Le due tensioni di 300 e 270 volt servono per fornire le tensioni di placca e di schermo a tutti gli stadi di amplificazione dell'apparecchiatura alimentata.

La tensione di alimentazione usata per un dato stadio, dipende dalle esigenze dello stadio stesso. Se è necessaria una possibilità di regolazione, si usa la tensione di 270 volt: diversamente, è disponibile l'altra. La tensione a 4.500 volt può essere invece usata per l'alimentazione (ad esempio) di un tubo a raggi catodici.

Allorchè l'interruttore S_1 viene chiuso, la tensione di rete viene collegata al primario del trasformatore.

I fusibili da 5 ampère, F_1 ed F_2, sono in serie al primario di T_1 e proteggono il circuito dell'alimentatore. Altri due fusibili da 0,5 ampère, F_3 ed F_4, proteggono invece il primario di T_4.

La tensione positiva di 300 volt, non regolata, viene ricavata dalla sezione *A* del circuito di figura 12, che è costituita da un rettificatore convenzionale a due semionde, seguito da una doppia cellula filtrante del tipo *LC*. La tensione di accensione per V_1 è prelevata da un secondario di T_1. Il filtro è costituito da L_1, C_1, L_2 e C_2. La tensione d'uscita è continua e relativamente priva di ondulazioni. Allo scopo di scaricare completamente i condensatori allorchè l'unità viene spenta, in parallelo all'uscita si trova la resistenza « zavorra » R_1.

La tensione continua è disponibile ai contatti *A* e *B* dell'attacco d'uscita. La tensione positiva e regolata di 270 volt viene invece ricavata dalla sezione *B* del circuito. La prima parte di quest'ultimo è anch'essa un rettificatore convenzionale a due semionde, seguito da un filtro a « π ». V_2 è la valvola relativa, mentre C_3, L_3 e C_4 costituiscono il filtro. La tensione del filamento è ricavata da un altro secondario (separato dal primo) di T_1.

La seconda parte di questa sezione è un circuito regolatore di tensione che consiste in tre valvole: V_4, V_5 e V_6. Se la tensione d'uscita (disponibile al contatto *C* dell'attacco d'uscita) tende a diminuire, la tensione di polarizzazione di V_5 diventa più negativa, per cui la valvola conduce una corrente minore. Ciò determrina un aumento della tensione di placca. Tale aumento viene applicato alla griglia di V_4, la quale si trova così in grado di condurre una corrente maggiore.

Questo aumento di conduttività determina a sua volta una diminuzione della resistenza di placca, quindi ai capi della valvola (ossia tra placca e catodo) si ha una caduta di tensione inferiore. Ciò compensa la diminuzione iniziale della tensione.

Come abbiamo visto analizzando, all'inizio di questa lezione, i vari circuiti, se la tensione d'uscita tende ad aumentare, la sequenza è la medesima, ma i fenomeni concatenati si verificano in senso opposto.

L'aumento della caduta di tensione presente tra catodo e placca di V_4 mantiene costante anche in questo caso la tensione d'uscita.

Il catodo di V_5 deve avere un potenziale costante, in modo che soltanto le variazioni di tensione della griglia

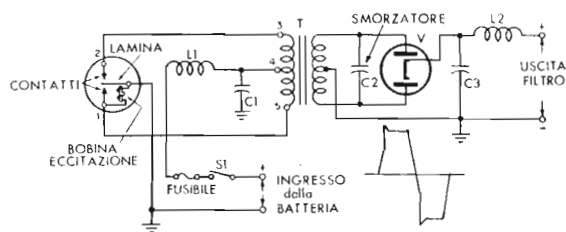



Fig. 14 — Alimentatore utilizzante un vibratore che trasforma la corrente continua disponibile (batteria = bassa tensione) in corrente alternata, elevata dal trasformatore T e successivamente rettificata dalla valvola V. All'uscita si ha alta tensione continua.

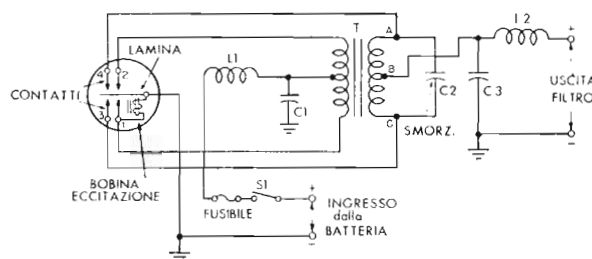



Fig. 15 — Il risultato con lo schema di figura 14 può essere raggiunto anche con questo schema. Come si vede, la valvola è stata eliminata e la sua funzione viene svolta da una coppia di contatti (3 e 4), aggiunti al vibratore.

possano determinare variazioni di intensità di corrente attraverso la valvola stessa. Per mantenere costante la tensione del catodo viene qui usata la valvola al neon V_3.

Il condensatore C_8 offre una bassa impedenza verso massa alle eventuali rapide variazioni della tensione d'uscita, ed impedisce loro di raggiungere il catodo di V_3, R_7 è una resistenza variabile che consente di regolare la tensione d'uscita al valore di 270 volt in condizioni normali di carico. La resistenza R_{10} compensa in parte le variazioni della tensione di rete accoppiando una parte di qualsiasi variazione presente all'uscita del filtro, alla griglia di V_3.

C_7 rende la valvola V_5 sensibile alle eventuali rapide variazioni dell'uscita del rettificatore, accoppiando queste ultime alla griglia.

Infine, la sezione C del circuito, costituita da una valvola rettificatrice di una sola semionda e dal filtro C_5, R_3, C_6, fornisce una tensione non regolata di 4.500 volt, disponibile alla presa d'uscita. R_4 consente la scarica totale dei condensatori quando il dispostivo non è in funzione, ed R_5 limita la corrente iniziale attraverso la valvola non appena il complesso viene messo in funzione.

Alimentatori a vibratore

Un vibratore è un dispositivo elettromagnetico che ha il compito di convertire una corrente continua in corrente pulsante, tale da poter essere elevata mediante un trasformatore. In tal modo è possibile ricavare da una batteria di accumulatori la tensione, notevolmente più alta, necessaria per alimentare le placche e gli schermi delle valvole di una apparecchiatura elettronica.

Esso consiste essenzialmente in una bobina di eccitazione avvolta su un nucleo magnetico, ed in un equipaggio mobile che si sposta per effetto del campo magnetico prodotto dalla bobina stessa. La **figura 13** ne illustra un esemplare. In essa si nota una lamina vibrante che, attratta dal nucleo magnetico, chiude la coppia di contatti di sinistra aprendo quella di destra. Tale apertura interrompe la corrente di eccitazione, per cui la lamina, per elasticità, ritorna alla posizione iniziale. In tal caso la corrente di eccitazione torna a circolare ed il ciclo si ripete.

I vibratori possono essere di due tipi: il primo tipo è detto **non sincronizzato**, ed agisce semplicemente da interruttore, in quanto interrompe la corrente con una frequenza stabilita dalle caratteristiche della lamina vibrante. In tal caso, le successive aperture e chiusure di una delle coppie di contatti rendono disponibile una corrente pulsante, prelevata dalla medesima batteria che eccita il vibratore. Questa corrente può essere elevata e quindi rettificata con un circuito convenzionale, come quello illustrato in **figura 14**.

Il seondo tipo è detto **sincronizzato** poichè è provvisto di una seconda coppia di contatti mediante i quali viene eseguita direttamente la rettificazione, attraverso un circuito come quello illustrato in **figura 15**.

I vibratori, di qualunque tipo essi siano, sono generalmente racchiusi in un involucro rivestito internamente di gomma per attutire le vibrazioni. Detto involucro è munito di uno zoccolo per l'innesto in un supporto, esattamente come avviene con le valvole. Ciò per consentire la facile sostituzione in caso di guasto.

Nel circuito di figura 14 si nota che attraverso il primario di T circola una corrente pulsante dovuta all'azione del vibratore. Ai capi del secondario è presente una tensione alternata la cui forma d'onda è illustrata a lato, che viene poi rettificata dalla valvola V, e filtrata mediante C_3, L_2, e l'eventuale filtro successivo.

Nel circuito di figura 15, la coppia di contatti *1* e *2* compie la medesima funzione del caso precedente. In aggiunta, la coppia di contatti *3* e *4*, (contatti che funzionano in sincronismo con gli altri due) provvede alla rettificazione. Infatti, la tensione presente ai capi del secondario di T non viene prelevata per intero, bensì alternativamente tra la presa centrale B, ed uno dei terminali opposti A e C. In tal modo, la presa centrale fornisce sempre la polarità positiva, mentre quella negativa è disponibile a massa, rendendo inutile la rettificazione.

In entrambi i casi, il condensatore C_2 sopprime i transitori dovuti allo scintillìo tra i contatti, evitando che essi si ripercuotano sul funzionamento dell'apparecchio alimentato.

Ovviamente, questi dispositivi servono esclusivamente per la produzione delle tensioni anodiche, mentre le tensioni di accensione per i filamenti delle valvole dell'apparecchiatura alimentata, vengono prelevate direttamente dalla batteria di accumulatori.

Un caso tipico di applicazione è l'apparecchio radio a valvole installato su automobili o comunque su mezzi semoventi che sono nella generalità provvisti di impianto a bassa tensione di corrente continua (accumulatori).

SIMBOLI - ABBREVIAZIONI

G_1 = Prima griglia, o griglia «pilota», o griglia «controllo»

G_2 = Seconda griglia, o griglia « schermo », o, più comunemente, « schermo »

G_3 = Terza griglia, o griglia di « soppressione », o, più comunemente, « soppressore »

G_c = Griglia « controllo »

G_s = Griglia « schermo »

E_{g1} = Tensione di griglia controllo

E_{g2} = Tensione di griglia schermo

E_{GS} = Tensione di griglia schermo

E_{g3} = Tensione di griglia di soppressione

I_{g1} = Corrente di griglia controllo

I_{g2} = Corrente di griglia schermo

I_{GS} = Corrente di griglia schermo

E_f = Tensione di filamento

I_k = Corrente di catodo

I_f = Corrente di filamento

R_k = Resistenza catodica

FORMULE

$I_k = I_p + I_{g2}$

$R_k = E_{g1} : (I_p + I_{g2})$

SEGNI SCHEMATICI

 = Tetrodo ad accensione diretta

 = Tetrodo ad accensione indiretta

 = Pentodo ad accensione diretta

 = Pentodo ad accensione indiretta, con G_3 libera

 = Pentodo ad accensione indiretta, con G_3 collegata interamente al catodo

 = Pentodo a fascio

 = Lampada stabilizzatrice « amperite » o « ferro-idrogeno »

 = Valvola al neon

 = Valvola al neon

DOMANDE sulle LEZIONI 49ª e 50ª

N. 1 —
Quale è il compito della griglia schermo in un tetrodo o in un pentodo?

N. 2 —
Quale è il compito della terza griglia in un pentodo? Come si chiama?

N. 3 —
Nei tetrodi e pentodi, a cosa equivale l'intensità di corrente che scorre nel circuito di catodo?

N. 4 —
Per quale motivo un pentodo consente un'amplificazione maggiore di quella consentita da un triodo?

N. 5 —
Per quale motivo l'andamento della curva caratteristica statica di una valvola è diverso da quello della curva dinamica?

N. 6 —
Per quale motivo è necessario l'impiego di un condensatore di filtro per la tensione di griglia schermo?

N. 7 —
Cosa si intende per regione a resistenza negativa, nella curva caratteristica di un tetrodo?

N. 8 —
Quale è, normalmente, il potenziale della griglia di soppressione rispetto al catodo?

N. 9 —
Cosa si intende per emissione secondaria? In quale modo vi si pone rimedio?

N. 10 —
Nei confronti del triodo, come si comportano la resistenza di placca, il fattore di amplificazione e la conduttanza mutua di un tetrodo?

N. 11 —
Quale è il vantaggio offerto dai pentodi a fascio elettronico?

N. 12 —
Quale è la caratteristica di una valvola a coefficiente variabile di amplificazione?

N. 13 —
Perchè una valvola del tipo « amperite » o « ferro-idrogeno » può fungere da stabilizzatrice?

N. 14 —
Come si comporta una valvola al neon se aumenta la tensione applicata ai suoi elettrodi?

N. 15 —
Come è possibile stabilizzare una tensione di 300 volt mediante valvole al neon funzionanti con soli 150 volt?

N. 16 —
Quale è il fenomeno che determina il passaggio di corrente tra gli elettrodi di una valvola al neon?

N. 17 —
In un alimentatore a tensione di uscita regolabile, come si provvede alla regolazione?

N. 18 —
Quale è la differenza tra un vibratore sincronizzato ed uno non sincronizzato?

RISPOSTE alle DOMANDE di Pag. 377

N. 1 — Il controllo dell'intensità del flusso di elettroni tra il catodo e la placca, il quale diminuisce con l'aumentare del potenziale negativo della griglia.

N. 2 — Tensione di interdizione, o di blocco.

N. 3 — No. Oltre un certo valore, essa è limitata dalla impossibilità da parte del catodo di emettere elettroni in quantità maggiore.

N. 4 — Come il rapporto tra le variazioni della tensione di placca e le variazioni della tensione di griglia.

N. 5 — Per far sì che entrambe le semionde del segnale, positive e negative, vengano amplificate uniformemente.

N. 6 — In tali condizioni si ha:

$E_p = 90$ volt
$I_p = 2{,}7$ milliampère
$\Delta E_p = 30$ volt
$\mu = 15$

Da ciò si deduce che il coefficiente di amplificazione resta immutato rispetto al caso considerato nel testo.

N. 7 — La conduttanza mutua, o transconduttanza, è il rapporto tra le variazioni della corrente di placca, e le variazioni della tensione di griglia che ne sono causa, ferma restando la tensione di placca. È rappresentata dal simbolo « g_m ».

N. 8 — Perchè un aumento della tensione di griglia in senso negativo determina un aumento della tensione di placca in senso positivo. La corrente anodica infatti diminuisce, come pure la caduta di tensione attraverso la resistenza di carico, e viceversa.

N. 9 — In tre modi: mediante una batteria apposita, mediante una resistenza in serie al catodo, o mediante una resistenza in serie al lato negativo della tensione anodica, prima della quale viene collegata la resistenza di griglia.

N. 10 — Dividendo la tensione di polarizzazione per la corrente anodica.

N. 11 — Collegando a massa la presa centrale di una resistenza collegata in parallelo al filamento.

N. 12 — Due: la prova dell'emissione, e quella della conduttanza mutua.

N. 13 — Inserendo e disinserendo una resistenza posta in serie alla griglia. Se il vuoto non è regolare, la sua presenza in circuito determina un notevole aumento di corrente anodica.

N. 14 — Perchè alcuni tipi di cortocircuito si manifestano solo quando la valvola raggiunge la normale temperatura di funzionamento, ossia si trova « sotto tensione ».

N. 15 — Perchè il catodo, o lo strato emittente depositato sul filamento, può essere esaurito. Ciò impedisce l'emissione.

N. 16 — Sì: misurando la caduta di tensione presente ai capi della resistenza di placca o della resistenza di catodo. Il rapporto tra detta tensione ed il valore della resistenza dà la corrente anodica.

COSTRUZIONE di un ALIMENTATORE STABILIZZATO

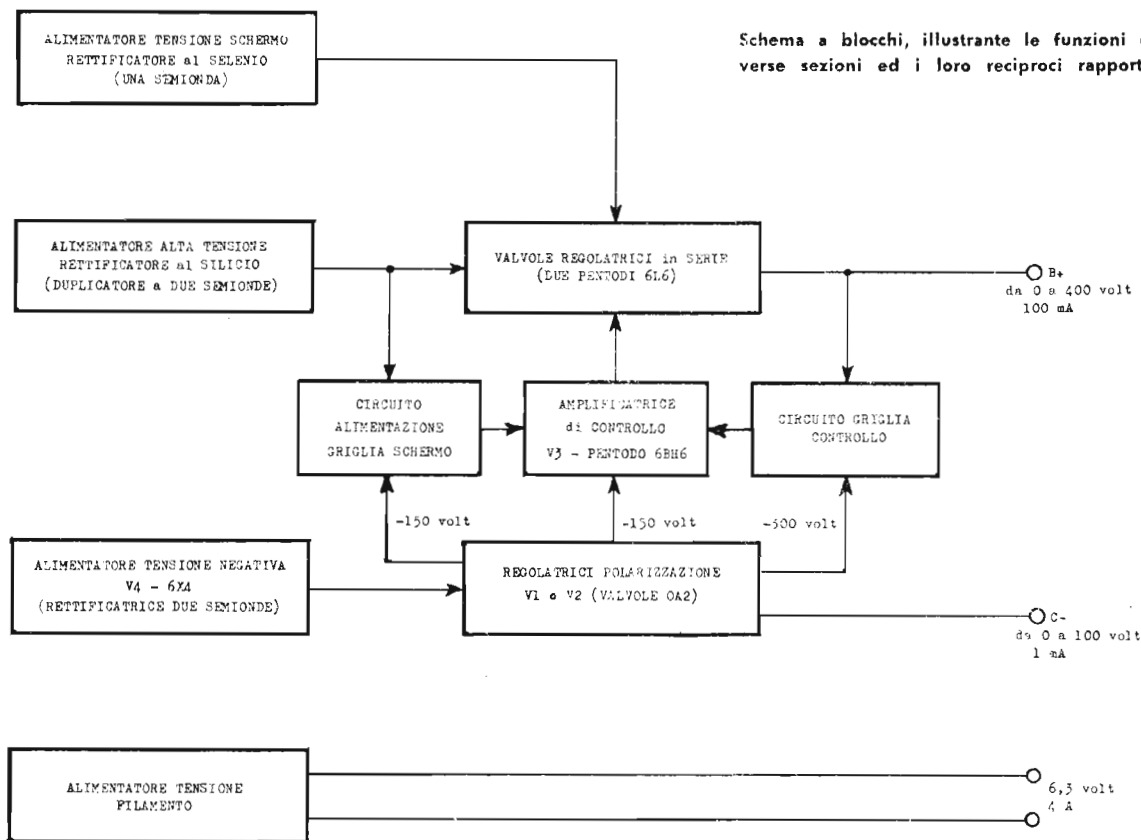
In un laboratorio nel quale si ha spesso occasione di effettuare misure e prove di vario genere, un alimentatore stabilizzato e ad uscita regolabile, è di notevole utilità. Esso consente, infatti, di sperimentare qualsiasi dispositivo, senza dover costruire appositamente il circuito di alimentazione. Oltre a ciò, specie in fase sperimentale, anche nei confronti di apparecchiature che non necessitano di una alimentazione rigorosamente costante — onde eventualmente studiarne il funzionamento in tutti i suoi dettagli — l'alimentazione stabilizzata consente sempre risultati più soddisfacenti.

A tale scopo, presentiamo l'alimentatore modello **PS-4**. Esso è reperibile in commercio, sotto forma di scatola di montaggio, come il provavalvole descritto alla lezione 47ª. Valgono anche quì le considerazioni allora esposte in merito alle scatole di montaggio.

L'alimentatore **PS-4** è una sorgente variabile e stabilizzata di tensione anodica, variabile di tensione di polarizzazione, e fornisce anche la tensione per l'accensione dei filamenti; esso è particolarmente utile nei laboratori di progettisti, ma lo è anche nei più modesti laboratori di riparazione.

Questa apparecchiatura consente al tecnico di provare e perfezionare i suoi circuiti, indipendentemente dai dispositivi di alimentazione che li completano. La tensione e la corrente d'uscita sono entrambe controllate in modo continuo, mediante due appositi strumenti installati sul pannello: ciò facilita la determinazione ed il controllo della potenza dissipata dall'apparecchio alimentato e consente all'operatore di stabilire con precisione le caratteristiche di alimentazione di una determinata sezione o parte.

Tutte le uscite sono isolate dallo chassis allo scopo di permettere l'uso del polo positivo, sia come punto « *caldo* », che come lato massa. I filamenti vengono alimentati con

Schema a blocchi, illustrante le funzioni delle diverse sezioni ed i loro reciproci rapporti.

tensioni provenienti da trasformatori separati da quelli che erogano l'alta tensione. In questo modo viene resa possibile la temporanea esclusione di tutte le tensioni elevate, lasciando però in funzione quelle di accensione. Durante le normali prove di laboratorio, questa possibilità evita al tecnico di aspettare che le valvole abbiano nuovamente raggiunta la temperatura di funzionamento, ogni volta che egli deve disinserire l'apparecchio sotto prova per intervenire nel circuito.

Il circuito che fornisce la tensione di polarizzazione è provvisto di un apposito potenziometro che permette una regolazione accurata della tensione d'uscita, nonchè di un commutatore collegato ad uno strumento, il quale rende possibile l'inserzione di quest'ultimo, o sulla tensione anodica o sulla tensione di polarizzazione. L'intero apparecchio è protetto mediante dispositivi di sicurezza che evitano qualsiasi pericolo di danno se l'uscita della tensione di polarizzazione viene accidentalmente cortocircuitata. Sono inoltre previsti dei fusibili per proteggere l'apparecchio contro eventuali sovraccarichi o cortocircuiti.

Le caratteristiche del circuito sono tali che la corrente d'uscita può variare entro ampi limiti (da 0 a 100 mA, a seconda del carico), mentre, nonostante ciò, la tensione d'uscita rimane costante al suo valore originale.

L'alta tensione proviene da un duplicatore di tensione con rettificazione delle due semionde, realizzato mediante diodi al silicio. Questa tensione è collegata alle placche di due valvole del tipo 6L6, connesse in parallelo tra loro. I rispettivi catodi sono collegati alla presa d'uscita attraverso un milliamperometro. Le 6L6 vengono utilizzate come pentodi, in quanto, per lo scopo prefisso, è molto più conveniente il pentodo che non il triodo. A tale scopo, viene usata una sezione speciale e separata di alimentazione per fornire la necessaria tensione alle griglie schermo. L'alimentazione in questione consiste in un rettificatore ad una semionda, nel quale sono impiegati due diodi rettificatori al selenio, seguiti da una doppia cellula di filtraggio. Due resistenze da 100 ohm (che agiscono da soppressori di correnti parassite) portano la dovuta tensione alle griglie schermo. Il punto comune di questa alimentazione è collegato ai catodi delle 6L6; in tal modo la tensione di schermo può essere considerata relativamente costante.

Grazie alle caratteristiche di questo tipo di circuito, la combinazione in parallelo delle due valvole 6L6 si comporta come una resistenza variabile, il cui valore è controllato — come abbiamo visto nella lezione precedente — dalle eventuali piccole variazioni della tensione presente sulle griglie di controllo.

Il segnale che giunge a dette griglie proviene dalla apposita valvola di controllo, 6BH6, che funziona come amplificatrice di tensione a corrente continua. La griglia di questa valvola è alimentata mediante un partitore presente tra i capi della linea d'uscita; la placca è collegata direttamente alle griglie delle 6L6, attraverso due resistenze da 1.000 ohm ciascuna. In tal modo, qualsiasi variazione di tensione causata da variazioni del carico applicato o della tensione di rete, o da entrambe, viene immediatamente amplificata e ricondotta, con polarità invertita, alle griglie della 6L6 che — come sappiamo — sono in parallelo tra loro ed in serie all'uscita. Si determina una variazione corrispondente nella resistenza interna delle valvole, variazione che è in opposizione rispetto alle variazioni della tensione di uscita. Queste ultime vengono quindi automaticamente neutralizzate.

La tensione di schermo per la valvola amplificatrice di controllo è anch'essa prelevata da un partitore (ai capi del quale è presente una tensione continua) collegato tra l'alimentazione ad alta tensione e la sorgente di tensione

SCHEMA ELETTRICO dell'ALIMENTATORE STABILIZZATO « PS-4 »

L'entrata è prevista dalla rete a corrente alternata, a tensione tra 105 e 125 volt (da 50 a 60 Hz). L'assorbimento è di 150 watt. Può fornire, in uscita, una tensione qualunque tra 0 e 400 volt c.c., stabilizzata, con corrente da 0 a 100 mA (per corti periodi, anche 125 mA). È disponibile poi, una tensione negativa che può essere da 0 a 100 volt c.c., con regime sino ad 1 mA. Inoltre, si hanno 6,3 volt c.a. (con 4 ampère) isolati dallo chassis, a 1.500 volt. La tensione d'uscita varia meno dell'1 %, da vuoto a carico, per le uscite a c.c.

sopra citate. Per le variazioni di tensione di rete, in più ed in meno 10 volt (su 117 volt) la variazione della tensione d'uscita è inferiore a 0,5 volt. Il residuo della corrente alternata è inferiore a 10 mV efficaci. L'impedenza d'uscita del circuito ad alta tensione è inferiore a 10 ohm, per la gamma dalla corrente continua sino alla frequenza di 1 MHz. Vi sono due strumenti indicatori: un voltmetro per lettura da 0 a 400 volt, oppure da 0 a 150 volt, ed un milliamperometro per lettura da 0 a 150 mA. Le valvole ed i rettificatori a secco impiegati sono i seguenti: due 6L6 come regolatrici (in parallelo tra loro) in serie al carico. Una 6BH6 amplificatrice di controllo. Una 6X4, rettificatrice della tensione negativa. Due OA2, stabilizzatrici della tensione negativa. Due raddrizzatori al selenio, da 50 mA, per la tensione di schermo. Quattro raddrizzatori al silicio, da 150 mA per alta tensione. Le dimensioni dell'apparecchio montato, in custodia, sono: larghezza cm 32,5; altezza cm 21; profondità cm 17,5. Il peso è di kg 5,5.

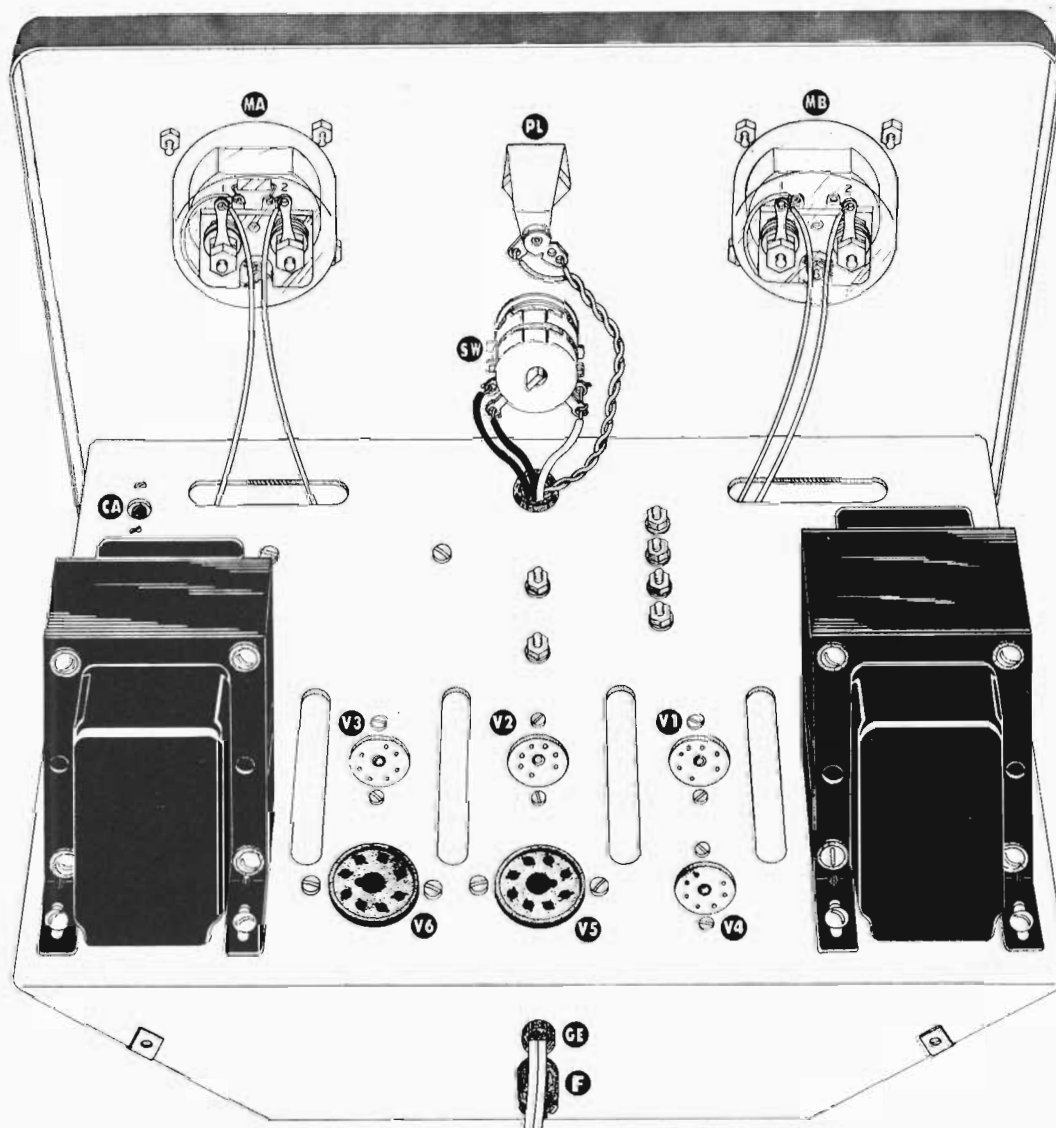
regolata del valore di —150 volt. L'ampiezza dell'alta tensione varia in senso inverso, rispetto alle variazioni della corrente d'uscita; ognuna di tali variazioni viene convogliata sulla griglia schermo, attraverso il citato partitore.

L'impedenza d'uscita dell'alimentatore può essere resa positiva o negativa usando differenti valori del divisore. I valori adottati in questa apparecchiatura sono stati scelti per consentire un'impedenza d'uscita praticamente eguale a zero.

La tensione d'uscita negativa è prelevata da una rettificatrice a due semionde del tipo 6X4, seguita da un filtro capacitivo a due sezioni. L'uscita del filtro è a sua volta collegata ad una coppia di valvole al neon, del tipo OA2 (stabilizzatrici di tensione) collegate in serie tra loro.

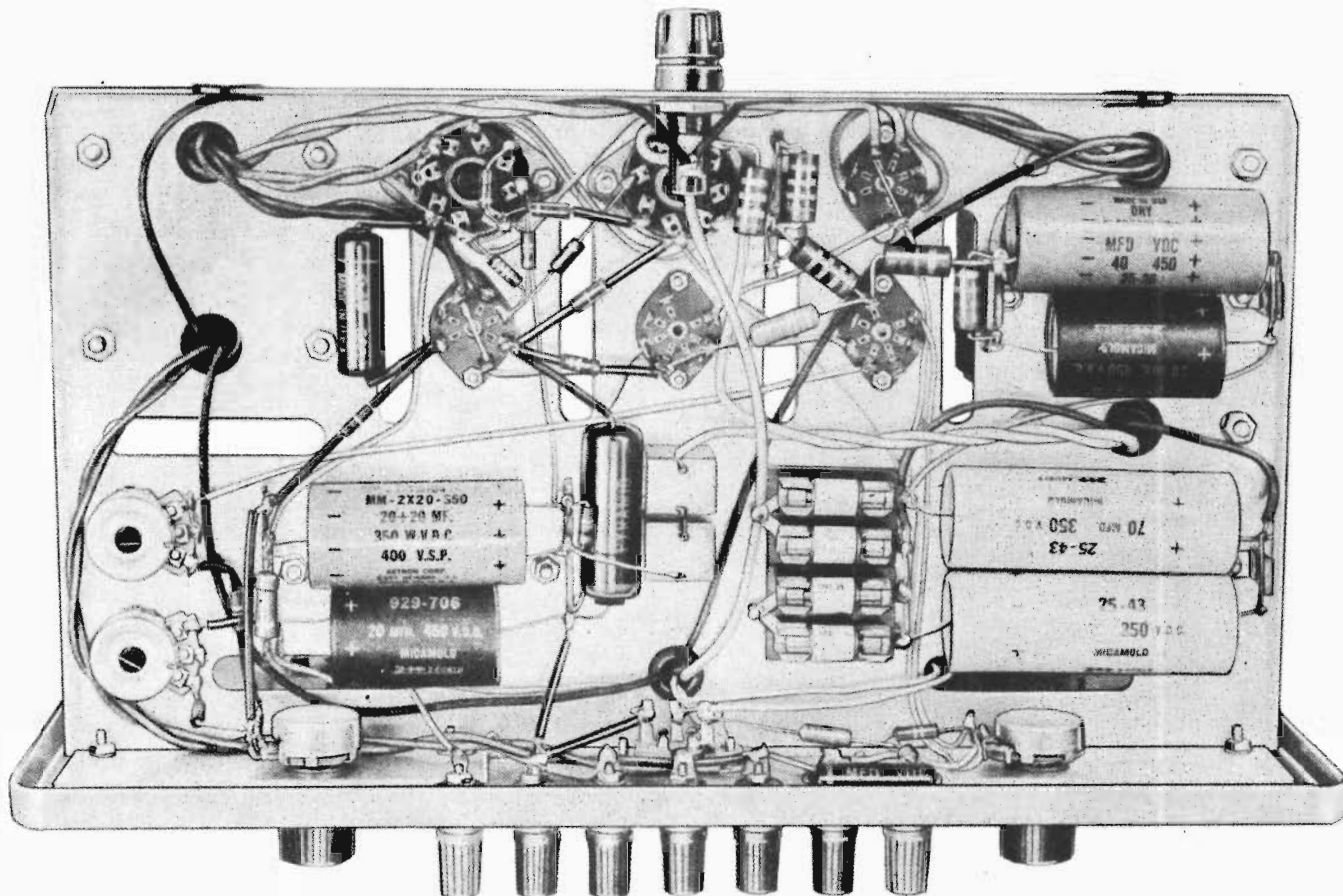
Il circuito della resistenza « zavorra », formato da quattro resistenze da 27 kohm unite in serie tra loro, è collegato tra il polo positivo dell'uscita ed il punto corrispondente a —300 volt. In tal modo, il passaggio di corrente attraverso le regolatrici in serie, è mantenuto costante in corrispondenza di tutte le tensioni richieste in uscita.

Il potenziometro da 50 kohm, connesso ai capi della sorgente di tensione che fornisce —150 volt, rende disponibile una tensione di polarizzazione variabile, la quale è accoppiata ai relativi terminali d'uscita, attraverso una resistenza limitatrice di corrente, del valore di 22 kohm. Tale resistenza evita che si producano danni nell'apparecchio, se l'uscita viene accidentalmente cortocircuitata.

Le tensioni di accensione dei filamenti dell'alimenta-

Veduta dello chassis e del retro del pannello frontale. « MA » è il milliamperometro 0—150 mA; « MB » è il voltmetro. In « CA » si scorge la regolazione del potenziometro che reca la stessa sigla sullo schema. « PL » è la lampada spia, mentre « SW » è il commutatore-interruttore di accensione a tre posizioni (spento-attesa-tensione). Il trasformatore a sinistra è quello dei filamenti e l'altro quello delle alte tensioni. « GE » è il cordone rete, ed « F » un fusibile posto in serie ad uno dei conduttori d'entrata.

Una veduta delle disposizioni delle parti al disotto del piano dello chassis, e dei relativi collegamenti è riportata a pagina 406.

Esse determinano in uscita una tensione stabile che può avere due valori: —150 e —300 volt. Questi due valori, o meglio le tensioni, costituiscono un riferimento per la valvola di controllo 6BH6 e per il circuito del partitore ad essa associato.

zione **PS-4**, vengono fornite da un trasformatore separato: esso rende disponibile anche una tensione di 6,3 volt (con una corrente di 4 ampère) per alimentare eventualmente i filamenti dell'apparecchio al quale l'alimentatore deve essere unito.

MESSA a PUNTO e COLLAUDO

Una volta ultimati i collegamenti dell'apparecchio, si provvede al collaudo ed alla messa a punto, seguendo la procedura qui esposta.

L'interruttore di accensione deve essere in posizione *off* (spento).

Portare il controllo di polarizzazione *C—output* (uscita) ed il controllo *B+output* (uscita alta tensione) nella posizione di massima rotazione in senso antiorario.

Portare il potenziometro contrassegnato *zero set* (regolazione zero) nella massima rotazione in senso orario.

Portare il potenziometro contrassegnato *400 volt set* (regolazione 400 volt) alla massima rotazione in senso antiorario.

Portare il commutatore dello strumento *SL* nella posizione *B+output*.

Prima di tali operazioni, nessun carico deve essere applicato all'uscita. Collegare il cordone rete alla presa di corrente, tramite un autotrasformatore se detta tensione è superiore a 120 volt.

Portare l'interruttore di accensione in posizione *standby* (attesa) ed aspettare alcuni minuti per permettere alle valvole di raggiungere la temperatura di funzionamento. Controllare che i filamenti delle valvole 6X4, 6BH6 e delle due 6L6, siano accesi.

Portare l'interruttore di accensione in posizione *on* (funzionamento). Se tutto è regolare, lo strumento che indica la corrente di uscita indicherà zero, mentre il voltmetro indicherà una tensione compresa tra 0 e 100 volt.

Regolare il controllo *zero set* in senso antiorario, finchè anche il voltmetro indica 0.

Portare la manopola *B+output* nella massima rotazione in senso orario.

Regolare il controllo *400 volt set* in senso orario fino ad ottenere sul voltmetro una indicazione di 400 volt.

Regolare la manopola *B+output* in senso antiorario fino al termine della rotazione.

Poichè i due controlli *zero-set* e *400 volt set* si influenzano a vicenda, è opportuno ripetere la sequenza delle ultime quattro operazioni almeno 3 o 4 volte.

Ciò completa la messa a punto dell'apparecchio, dopo di che esso può essere inserito nella sua custodia.

Per il funzionamento normale, è opportuno collegare il terminale comune *B2* al terminale di massa *B3*.

Messa a punto nei confronti dell'alta tensione

Collegare il carico tra i terminali *common* (comune) e *B+output* (uscita alta tensione). Ruotare il controllo *B+output* in senso orario fino ad ottenere la tensione d'uscita desiderata. Controllare sugli strumenti il valore della corrente e della tensione (sulla scala di 400 volt). Fare attenzione a non superare i valori massimi consentiti. Osservare per questo, la linea rossa di riferimento corrispondente a 100 mA sul milliamperometro.

Messa a punto della tensione di polarizzazione

Collegare l'uscita al circuito sotto prova o ad un carico leggero qualsiasi posto tra i terminali *common* e *C—output*. Portare il commutatore dello strumento in posizione *C—output*. Ruotare la manopola *C—output* in senso orario fino ad ottenere la tensione desiderata, controllandola sul voltmetro ed osservando la scala avente il valore di 150 volt massimi.

corso di RADIOTECNICA

pubblicazione settimanale - 28 genn. - 4 febbr. 1961 - un fascicolo lire 150 18° numero

corso di

RADIOTECNICA

settimanale a carattere culturale

Direzione, Amministrazione, Pubblicità:
Via dei Pellegrini 8/4 - Telef. 593.478

MILANO

Ogni fascicolo — contenente 3 lezioni — costa lire 150, acquistato alle edicole.

Se l'edicola risulta sprovvista, o si teme di rimanere privi di qualche numero, si chieda invio settimanale direttamente al proprio domicilio a mezzo abbonamento.

Il versamento per ricevere i 52 fascicoli costituenti l'intero Corso è di lire 6500 + I.G.E. = lire 6630. A mezzo vaglia postale, assegno bancario, o versamento sul conto corr. postale 3/41.203 del « Corso di RADIOTECNICA » - Via dei Pellegrini 8-4 - Milano.

In ogni caso, scrivere in modo molto chiaro e completo il proprio indirizzo.

L'abbonamento può essere effettuato in qualsiasi momento; si intende comprensivo delle lezioni pubblicate e dà diritto a ricevere tali lezioni, che saranno inviate con unica spedizione.

Estero: abbonamento al Corso, Lit. 8.500. ($ 15). Numeri singoli Lit. 300 ($ 0,50).

Per i cambi di indirizzo durante lo svolgimento del Corso, unire lire 100, citando sempre il vecchio indirizzo.

Fascicoli singoli arretrati — se disponibili — possono essere ordinati a lire 300 cadauno.

Non si spedisce contrassegno.

Distribuzione alle edicole di tutta Italia: Diffus. Milanese . Via Soperga, 57 - Milano.

Direttore responsabile: Giulio Borgogno.

Autorizzaz. N. 5357 - Tribunale di Milano.

Stampa: Intergrafica S.r.l. - Cologno Monzese.

La Direzione non rivende materiale radio; essa può comunicare, se richiesta, indirizzi di Fabbricanti, Importatori, Grossisti ecc. in grado di fornire il necessario ed ai quali il lettore può rivolgersi direttamente.

Alla corrispondenza con richiesta di informazioni ecc. si prega allegare sempre il **francobollo per la risposta.**

Parte del testo e delle illustrazioni è dovuta alla collaborazione del Bureau of Naval Personnel, nonchè al Dept. of the Army and the Air Force - U.S.A.

A chi può essere utile questo Corso? Anzitutto — stante la sua impostazione — il Corso, basato sull'esposizione in forma a tutti accessibile, della radiotecnica, dai suoi elementi basilari alla evoluzione più recente, rappresenta la forma ideale per tutti coloro che intendono dedicarsi all'elettronica, sia come forma ricreativa sia — soprattutto — per l'acquisizione di una professione specializzata che possa procurare loro una posizione di privilegio in seno alla società odierna.

Anno per anno, la nostra civiltà si indirizza sempre più verso questa meravigliosa, si potrebbe dire fascinosa, elettronica, che nel modo più evidente consente sviluppi impensati, progressi grandiosi e una rapida evoluzione di tutti gli altri rami dello scibile che essa tocca e influenza.

L'industria, tutta l'industria, nel senso più ampio, da quella elettrotecnica a quella meccanica, alla metallurgica, alla chimica ecc., con i suoi laboratori di ricerca e le sue fabbriche richiede, e richiederà sempre più, con un ritmo rapidamente crescente, tecnici specializzati con conoscenza dell'elettronica, tecnici specificatamente elettronici e persino operai e impiegati di ogni ordine e categoria con cognizioni di elettronica.

Si può dire che anche le branche commerciali, quelle dei trasporti e persino quelle amministrative con le recenti introduzioni delle calcolatrici, abbisognano di personale che conosca i principi dell'elettronica, le macchine relative, il loro pieno sfruttamento, la eventuale riparazione ecc. e, quanto più in modo completo, quanto meglio.

Nasce, da una tale situazione, una logica conseguenza: per la scelta di una professione o di un mestiere, per un miglioramento della propria posizione sociale, per l'intrapresa di una libera attività o anche per la sola acquisizione di cognizioni che indubbiamente verranno oltremodo utili, è quanto mai opportuno riflettere se non sia conveniente dedicare un po' di tempo allo studio di questa scienza che ha tra l'altro il pregio di rendersi immediatamente attraente, concreta, accessibile e foriera di moltissime soddisfazioni.

A questo scopo appunto, e con questi intenti, è stato redatto questo Corso.

Non mancano invero altri corsi (specie per corrispondenza) o scuole di radiotecnica, nè mancano (sebbene siano in numero del tutto inadeguato) scuole statali o pareggiate ma la struttura e l'impostazione che caratterizzano queste 156 lezioni sono alquanto particolari, presentando non pochi vantaggi sulle diverse altre forme di cui si è detto.

Anzitutto vogliamo porre in evidenza **il fattore economico.**

Frequentare regolarmente, durante tutto l'anno, una scuola è certo il modo più logico — anche se non il più rapido — per apprendere ma, tralasciando il fatto che rarissimi sono gli Istituti di radiotecnica, è a tutti possibile dedicarsi esclusivamente, e per l'intero anno, allo studio? Noi riteniamo che chi può farlo costituisca oggi assai più l'eccezione che la regola. Ciò significa infatti poter disporre liberamente del proprio tempo senza avere la necessità di un contemporaneo guadagno: il nostro Corso permette a chiunque di studiare a casa propria, nelle ore libere dal lavoro, senza abbandonare o trascurare quest'ultimo. Ciò caratterizza invero anche altri corsi, ma il vantaggio economico diviene notevole ed evidentissimo se si considera che di fronte all'esborso, anche se rateale, di quasi 80.000 lire che i corsi per corrispondenza richiedono, seguendo il nostro Corso la spesa in un anno risulta di poco più di 7500 lire (150 lire alla settimana presso un'edicola) o di 6630 lire totali, con recapito postale, settimanale, delle lezioni a domicilio.

E' superfluo dire che la Modulazione di Frequenza, i transistori, i circuiti stampati, la trasmissione, il telecomando ecc. sono argomenti integrali del Corso e non costituiscono motivo di corsi speciali, aggiunti o particolari.

Le lezioni di questo Corso — a differenza di molte altre — non sono stampate con sistemi di dispensa, a ciclostile, o con sistemi più o meno analoghi, derivanti cioè da un originale battuto a macchina da scrivere; esse sono stampate in uno stabilimento grafico, con chiari caratteri tipografici da cui deriva una assai più agevole lettura e — fattore certamente di non secondaria importanza — un contenuto molto più ampio, corrispondendo una pagina a stampa a tre o quattro pagine di quelle citate. Il lettore avrà, alla fine del Corso, un volume di ben 1248 pagine di grande formato!

Chiunque, indipendentemente dall'età, dalla professione e dalle scuole compiute **può seguire il Corso.** Alle esposizioni teoriche si abbinano numerose, attraenti, istruttive ed utili descrizioni che consentono la realizzazione di ricevitori, amplificatori, strumenti vari e persino di trasmittenti su onde corte.

A questo proposito è sintomatico il fatto che la Direzione non vuole assolutamente assumere la fisionomia di un fornitore o commerciante di materiale radio, rivendendo agli allievi le parti necessarie. Il materiale occorrente l'interessato può acquistarlo dove e come meglio crede e, assai spesso anzi, già ne dispone. Viene così evitato l'acquisto forzoso, caratteristico più o meno di tutti gli altri corsi.

Anche chi è già radiotecnico, anche chi ha seguito o segue altri corsi troverà il massimo tornaconto in questo completo ed aggiornato lavoro. Molte nozioni, è logico, saranno note, altre un po' meno e sarà utile rinfrescarle, e il tutto infine costituirà un manuale di consultazione, prezioso tanto per la teoria esposta quanto per i numerosi schemi, per le tabelle, per i grafici, gli elenchi, i dati, il vocabolario dei termini ecc.

Concludendo, si può affermare che questo **Corso di Radiotecnica** oltre che come insegnamento graduale si presenta come **enciclopedia e rivista assieme** ciò che permette di formare — con modestissima spesa — **il più completo, ricco, utile e pratico volume di radiotecnica di cui sia dato oggigiorno disporre.**

LA VALVOLA come AMPLIFICATRICE

Un amplificatore elettronico è un dispositivo adottante una o più valvole termoioniche ed i relativi circuiti, predisposti per aumentare l'ampiezza o l'intensità di un segnale, ossia per amplificarlo in tensione, o in corrente. Sappiamo già perchè la valvola può compiere tale lavoro: una piccola tensione applicata alla griglia, controlla il passaggio di notevoli correnti nel circuito di placca.

La **figura 1-A** illustra un circuito tipico di triodo amplificatore. La batteria *C* dà alla griglia un potenziale negativo costante rispetto al catodo. Il segnale da amplificare, E_s, è — come si vede — in serie a detta tensione di polarizzazione E_c. Il carico della valvola è un dispositivo, collegato in serie alla placca, attraverso il quale passa la corrente anodica resa variabile dal segnale alternato presente sulla griglia.

In assenza di tale segnale, il flusso della corrente anodica attraverso il carico è costante. La sorgente di tutta la corrente anodica è la batteria *B*, detta appunto *anodica*, che mette a disposizione la tensione E_b. La corrente di placca varia conformemente ai diversi valori di tensione del segnale applicato alla griglia, aumentando quando quest'ultima diventa meno negativa, e, viceversa, diminuendo quando essa diventa più negativa. In tal modo la tensione del segnale di griglia controlla la corrente fornita dall'alimentazione anodica.

Osservando la curva E_g-I_p riportata alla figura 1-**B**, è possibile notare come un segnale di ampiezza ridotta, presente sulla griglia, provochi variazioni nella corrente di placca che passa attraverso il carico. Come è illustrato, la batteria da 2 volt determina il punto di lavoro della valvola: questo punto viene scelto in modo che si trovi sul tratto rettilineo della curva caratteristica. La corrente anodica costante, corrispondente ad una tensione negativa costante della griglia di —2 volt, è di 3 milliampère: essa ammonta a tale valore quando la resistenza di carico è di 50.000 ohm. Ne consegue che la caduta di tensione ai capi del carico, in assenza di segnale ($V=I \times R$) è di 150 volt. Dal momento che la tensione di placca, E_p, presente tra la placca ed il catodo, corrisponde alla tensione di alimentazione E_b meno la caduta di tensione ai capi del carico, la tensione di placca risulta in $350 - 150 = 200$ volt.

Supponiamo ora che il generatore E_s produca una tensione alternata sinusoidale la cui ampiezza sia di 1 volt. In questo caso il potenziale di griglia assumerà tutti i valori intermedi e successivi tra —1 volt durante il semiperiodo positivo ($-2+1=-1$), e —3 volt durante il semiperiodo negativo ($-2-1=-3$).

Nel grafico riportato dalla figura 1-**B** si può notare che, in conseguenza delle variazioni della tensione di griglia, la corrente anodica sale a 4 milliampère quando detta tensione è di —1 volt, e scende a 2 milliampère quando la tensione di griglia è a —3 volt.

Quando il valore istantaneo della corrente di placca ammonta a 4 milliampère, la caduta di tensione *IR* ai capi del carico anodico equivale a 0,004 volte 50.000, ossia 200 volt; quindi, in quell'istante, E_p ha il valore di 150 volt. I valori istantanei della tensione di placca sono rappresentati dalla curva tratteggiata.

Quando invece, la corrente anodica scende al citato valore minimo di 2 milliampère, la caduta *IR* è pari a 0,002 volte 50.000, ossia 100 volt, per cui in quell'istante, E_p ammonta a 250 volt.

Possiamo rilevare ora che il potenziale di placca varia da 150 volt a 250 volt tra picco e picco. Ciò significa che la tensione alternata, sinusoidale, d'uscita (presente alla placca) ammonta a 50 volt. Dal momento che l'ampiezza del segnale applicato alla griglia ha un valore di picco di 1 volt, esso risulta amplificato 50 volte nel circuito di placca.

Si noti anche che il segnale d'uscita è sfasato di 180° rispetto a quello di entrata.

CLASSIFICAZIONE degli AMPLIFICATORI

A seconda della frequenza

Gli amplificatori possono essere classificati a seconda della gamma di frequenza con la quale devono funzionare. I due tipi principali, sotto questo punto di vista, sono quelli ad *audio frequenza* o Bassa Frequenza e a *radio frequenza* o Alta Frequenza. I primi sono progettati per amplificare segnali la cui frequenza varia da un minimo di circa 10 ad un massimo di circa 20.000 Hertz; i secondi invece amplificano segnali di frequenza superiore al limite massimo precedente, in quanto essi sono considerati segnali a radiofrequenza.

A seconda dell'impiego

Sotto il punto di vista del loro compito specifico, gli amplificatori si dividono in due gruppi: amplificatori *di tensione* e amplificatori di *potenza*. I primi aumentano l'ampiezza del segnale di ingresso, senza prendere in considerazione la potenza fornita al carico. La maggior parte di essi ha una resistenza di carico di valore elevato, il che permette lo sviluppo di notevoli differenze di po-

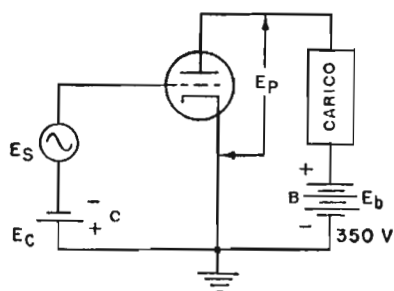



Fig. 1A — Circuito tipico di amplificatore a triodo. La batteria B fornisce la tensione anodica, mentre la batteria C fornisce la tensione di polarizzazione di griglia. Tutta la corrente anodica passa attraverso il carico.

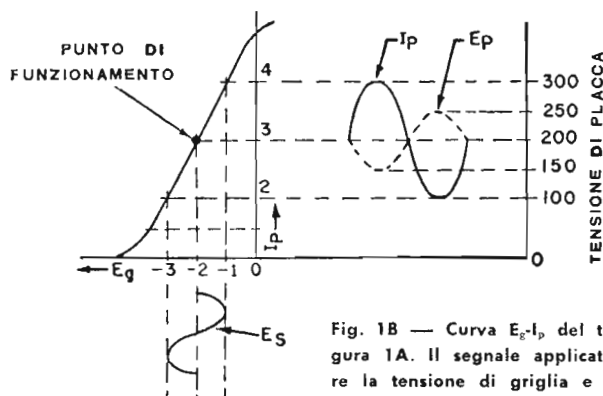



Fig. 1B — Curva E_g-I_p del triodo di figura 1A. Il segnale applicato fa variare la tensione di griglia e la corrente anodica nel tratto rettilineo della curva.

tenziale ai suoi capi. Gli amplificatori di potenza hanno invece il compito di erogare al carico una certa potenza, ed in essi il fattore di amplificazione della tensione diviene di minore importanza. La maggior parte degli amplificatori di potenza è provvista di un carico che presenta un'impedenza scelta con valore tale da ottenere o la massima potenza con la minima distorsione, o un **rendimento di placca** desiderato. Quest'ultimo **è il rapporto tra la potenza del segnale d'uscita, e la potenza di alimentazione in corrente continua** (vale a dire il prodotto tra corrente e tensione di placca). La potenza dissipata da una valvola, e prelevata dall'alimentazione anodica, è sempre superiore a quella resa sotto forma di segnale amplificato. La differenza tra detta potenza di entrata in alimentazione e la potenza d'uscita del segnale constituisce la perdita dissipata sotto forma di energia termica nella placca.

Poichè una valvola termoionica rende disponibile il segnale d'uscita ai capi del carico, *la massima potenza d'uscita è ottenibile quando l'impedenza di quest'ultimo è eguale a quella interna della sorgente,* ossia alla resistenza di placca della valvola stessa. Una resistenza di carico di valore inferiore a quello necessario, provoca una distorsione d'ampiezza del segnale d'uscita. A ciò si rimedia, nel caso del triodo, dando all'impedenza del carico un valore pari al doppio, o anche al triplo, di quello della resistenza di placca, R_p, della valvola. Il risultato di tale provvedimento è che, nonostante la perdita di una piccola parte di potenza, la distorsione di ampiezza è inferiore, perchè è tale quando l'impedenza di carico è più alta dell'impedenza della sorgente.

Nel caso del pentodo, il valore esatto dell'impedenza di carico è enunciato nel manuale delle caratteristiche fornito dal fabbricante, e, normalmente, corrisponde dalla decima alla ventesima parte della resistenza di placca, R_p, della valvola in questione.

A seconda della polarizzazione

Oltre alla classificazione in base alla frequenza ed all'impiego, tutti gli stadi di amplificazione mediante valvole termoioniche possono essere classificati in base alla tensione di polarizzazione applicata alla griglia, ossia in base alla frazione del ciclo a c.a. del segnale, durante la quale si ha passaggio della corrente anodica. Sotto tale aspetto gli amplificatori possono essere definiti di *classe A*, di *classe AB*, di *classe B* e di *classe C*.

RELAZIONE di FASE negli AMPLIFICATORI

Sappiamo che il segnale di griglia, e_g, è sempre in fase con la corrente anodica i_b. Due forme d'onda di eguale frequenza — abbiamo visto a suo tempo — vengono dette « in fase » allorchè passano attraverso punti corrispondenti nel medesimo istante; in altre parole, le curve raggiungono i valori di massimo positivo e di massimo negativo, come pure il valore zero, nel medesimo istante.

La **figura 2** illustra le relazioni di fase delle varie tensioni e correnti alternate in un triodo amplificatore. In questo circuito, e_g, e_c, ed i_b sono in fase tra loro, ma sono sfasate di 180° nei confronti della tensione di uscita e_u.

Supponiamo che il triodo illustrato alla figura 2 sia del tipo 6J5, funzionante con una tensione di polarizzazione di griglia pari a —8 volt, e con una tensione di alimentazione dell'anodo di 350 volt.

In condizioni di riposo (ossia in assenza di segnale) la corrente anodica, I_{bo}, ammonta a 5,2 mA; la tensione di placca, E_{bo}, è di 220 volt, ed R_c è di 25.000 ohm. Sempre in assenza di segnale, la caduta di tênsione che si manifesta ai capi della resistenza di carico, E_{co}, equivale ad E_b meno E_{bo}, ossia equivale a 350 meno 220, cioè 130 volt. Le varie tensioni e correnti che si presentano nel circuito del triodo sono illustrate graficamente alla **figura 3.** Tali forme d'onda vengono ottenute nel modo seguente: i punti *A*, *A1*, *A2*, *A3* ed *A4*, collegati da una linea tratteggiata verticale, rappresentano le condizioni che sussistono in assenza di segnale. La tensione del segnale è infatti pari a zero nel punto *A*, e nel punto *A1* si nota che la tensione negativa di griglia equivale a circa —8 volt che rappresenta il valore di E_g.

Nel medesimo tempo, la corrente di placca, I_{bo}, equivale a 5,2 mA nel punto *A2*. La caduta di tensione che si manifesta ai capi della resistenza di carico, equivale 130 volt nel punto *A3*. Infine è rappresentata la tensione di placca totale, E_{bo}, che equivale a 220 volt nel punto *A4*.

Allorchè la tensione del segnale di griglia raggiunge il suo massimo valore positivo nel punto *B*, la tensione totale di griglia, e_g, equivale a 0 volt, nel punto *B1*. La massima tensione del segnale presente sulla griglia fa in modo che la corrente anodica aumenti fino al valore massimo di 10,1 mA nel punto *B2*. Questo valore massimo della corrente fa sì che la caduta di tensione presente ai capi della resistenza di carico raggiunga il suo valore massimo di 252 volt, nel punto *B3*.

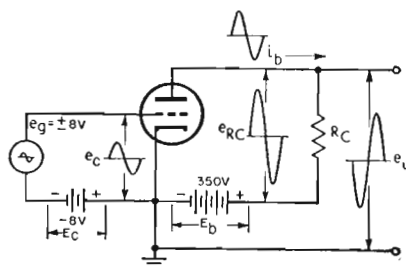
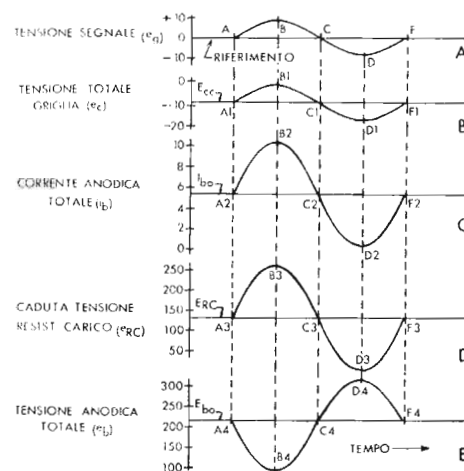



Fig. 2 — Relazioni di fase tra le tensioni e le correnti alternate in un amplificatore a triodo. Come si nota, il segnale di uscita è sfasato di 180° rispetto al segnale di ingresso applicato alla griglia.

Fig. 3 — Rappresentazione grafica delle varie tensioni e correnti di un amplificatore a triodo. Si noti che il segnale, e_c, i_b ed e_{RC} sono sempre in fase tra loro, mentre e_b (che rappresenta il segnale di uscita), è sfasato di 180°.

R_c, r_p, e la sorgente E_b costituiscono un circuito in serie. La somma delle cadute di tensione presenti ai capi di R_c ed r_p equivale alla tensione di alimentazione, E_b, erogata dalla sorgente stessa. Se la caduta di tensione presente ai capi di R_c aumenta, la caduta di tensione presente ai capi r_p deve diminuire. La tensione d'uscita, e_b, che sussiste tra placca e catodo, non è altro che la caduta di tensione che si presenta ai capi di r_p. Dal momento che la caduta di tensione ai capi di R_c ha il suo valore massimo, nel punto *B*, è ovvio che la tensione e_b abbia contemporaneamente il valore minimo. Ciò è illustrato nel punto *B4* che corrisponde a 98 volt.

In assenza di segnale, le medesime condizioni sussistono in corrispondenza dei punti *C*, *C1*, *C2*, *C3* e *C4*, come nei punti *A*, *A1*, *A2* ecc. precedentemente considerati. Quando e_g raggiunge il suo massimo valore negativo nel punto *D*, la tensione totale di griglia, e_g, ammonta a —16 volt nel punto *D1*.

Questo valore minimo della tensione di ingresso fa in modo che i_b raggiunga il suo valore minimo (1,3 mA nel punto *D2*). A sua volta, il minimo valore della corrente anodica fa in modo che e_{RC} assuma il valore minimo di 33 volt nel punto *D3*.

Dal momento che e_{RC} assume il valore minimo, la caduta di tensione presente ai capi di r_p ha il suo valore massimo, ed anche e_b assume il valore massimo (317 volt nel punto *D4*). Il punti *F*, *F1*, *F2*, *F3* ed *F4* sono riferiti sempre alle condizioni di assenza di segnale, ed hanno i medesimi valori numerici corrispondenti a *C*, *C1*, *C2*, ecc.

L'analisi che abbiamo or ora compiuto ci permette di notare che le forme d'onda illustrate in A, B, C e D sono in fase tra loro, ma sono sfasate di 180° rispetto alla forma d'onda illustrata in E. È quindi possibile dedurre la seguente conclusione: **il segnale presente sulla griglia controllo di una valvola è sempre in fase con la corrente anodica, ma è sempre sfasato di 180° rispetto alla tensione d'uscita di placca.** Tale regola sussiste per tutti i tipi di valvole, qualunque sia il numero delle griglie in esse contenute.

SISTEMI di POLARIZZAZIONE

In tutti i circuiti di amplificazione di cui ci siamo occupati fino ad ora, la tensione di polarizzazione veniva fornita da un'apposita batteria, che fungeva da sorgente della tensione E_g. Questo tipo di polarizzazione, noto come **polarizzazione fissa**, viene ricavato da una sorgente di tensione apposita. Nei normali circuiti di amplificazione esistono altri sistemi per ottenere questa tensione; il tipo di uso più comune è quello denominato **autopolarizzazione** (in inglese « self-bias »), secondo il quale la tensione di polarizzazione viene sviluppata ai capi di una resistenza, dalla valvola stessa. L'ammontare della caduta di tensione dipende dall'intensità della corrente anodica che attraversa la valvola, e quindi, indirettamente, dal segnale di griglia.

La polarizzazione **combinata** è — come dice la parola stessa — una combinazione dei due sistemi ora citati.

Polarizzazione fissa

La **figura 4-A** illustra un sistema per dare alla griglia una polarizzazione fissa. Come abbiamo affermato precedentemente, per « polarizzazione » si intende una tensione continua e costante presente tra griglia e catodo. Essa è normalmente negativa, e viene usata per stabilire il punto di funzionamento lungo la curva caratteristica della valvola. L'ammontare della tensione presente nel circuito illustrato è di —5 volt, ed è fornito dalla batteria.

In assenza di segnale non si manifesta alcuna corrente di griglia, in quanto essa è negativa rispetto al catodo. Ciò significa anche che il catodo è positivo di 5 volt rispetto alla griglia. La resistenza R_g fa parte di un circuito di accoppiamento relativo al segnale di ingresso. La tensione che si presenta tra griglia e massa equivale alla tensione di polarizzazione, sommata algebricamente alle tensioni istantanee del segnale. In questo caso, la polarizzazione è indipendente dal segnale di ingresso, e ciò si verifica sempre con il sistema della polarizzazione fissa.

Autopolarizzazione

Il metodo più comune per ottenere un'autopolarizzazione, è quello della polarizzazione « catodica » (figura 4-**B**). In questo circuito la tensione di polarizzazione si sviluppa ai capi della resistenza presente in serie al catodo.

In assenza di segnale sulla griglia, la corrente anodica, i_b, scorre ininterrottamente tra catodo e placca, e quindi tra placca e catodo attraverso la parte esterna del circuito. Dal momento che detta corrente anodica scorre da *A* a *B*, il punto *A* è negativo rispetto al punto *B*. Supponiamo ora che la caduta di tensione ai capi di R_k sia di 5 volt. Ciò rende il catodo positivo di 5 volt rispetto a

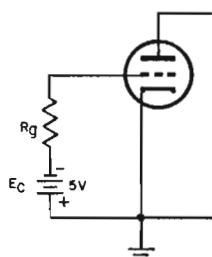



Fig. 4A — Polarizzazione fissa mediante una batteria in serie al circuito di griglia.

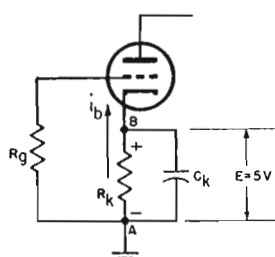



Fig. 4B — Sistema di autopolarizzazione catodica, ottenuta inserendo una resistenza di valore adatto tra catodo e massa.

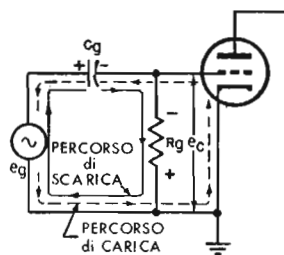



Fig. 4C — Autopolarizzazione per dispersione di griglia. La tensione necessaria si sviluppa ai capi di R_g solo quando il segnale è presente.

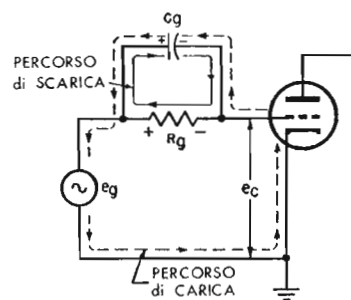



Fig. 4D — Altro circuito di autopolarizzazione per dispersione di griglia simile al precedente. Quì la corrente di scarica passa soltanto attraverso la resistenza R_g.

massa. La griglia è collegata (attraverso R_g) al punto A, negativo rispetto al catodo, per cui viene ad avere anch'essa un potenziale di —5 volt rispetto al catodo. Infatti, essendo il potenziale negativo, la griglia non assorbe elettroni; di conseguenza, non essendovi corrente di griglia, nessuna caduta di tensione può avere luogo attraverso R_g.

Come si è detto precedentemente, R_g fa parte di un circuito attraverso il quale il segnale di ingresso viene applicato alla griglia. Ora, se ai capi di R_g viene applicato un segnale alternato ad andamento sinusoidale, esso determina variazioni nella corrente anodica anch'esse sinusoidali, attorno ad un valore medio. La corrente anodica variabile scorre attraverso R_k.

Dal momento che la polarizzazione che si desidera ottenere deve essere una tensione fissa, la componente alternata della corrente di placca attraverso R_k deve essere eliminata. A ciò provvede il condensatore C_k. Il suo valore deve essere tale che la sua reattanza capacitiva risulti trascurabile nei confronti del valore ohmico di R_k, per la frequenza del segnale d'ingresso. Tale basso valore di reattanza capacitiva costituisce praticamente un cortocircuito (viene detto **condensatore di fuga**) verso massa, nei confronti della componente alternata presente ai capi di R_k. Ne deriva che la caduta ai capi di R_k non varia, ed il potenziale di griglia rimane fisso a —5 volt.

Il valore di C_k negli stadi di amplificazione di Bassa Frequenza è, generalmente, compreso tra 10 e 50 μF. Per contro, negli stadi di amplificazione di Alta Frequenza, esso è notevolmente inferiore, e ciò proprio per il fatto che le frequenze in gioco sono più elevate. Il valore ohmico di R_k è di solito tra 250 e 3.000 ohm. R_k può essere calcolata mediante la legge di Ohm, se si conosce la tensione di polarizzazione da ottenere, e il valore della corrente anodica. Ad esempio: supponiamo che la corrente anodica media sia di 10 mA, e si desideri ottenere una polarizzazione pari a —5 volt. In tal caso (legge di Ohm) abbiamo: $R_k = E_g : I_{bo} = 5 : 0{,}01 = 500$ ohm.

Un altro sistema di « autopolarizzazione » è quello detto « per dispersione di griglia » (figura 4-C). La capacità nel circuito di griglia, C_g, è di valore abbastanza elevato a chè la sua reattanza capacitiva sia, alla frequenza del segnale d'ingresso, bassa nei confronti del valore ohmico di R_g. Quest'ultima è di valore elevato.

La tensione e_g, che si manifesta ai capi di R_g, è composta dalla tensione del segnale di griglia sommato alla tensione di polarizzazione E_g.

Allorchè nessun segnale viene applicato al circuito, la differenza di potenziale tra griglia e catodo è zero. Di conseguenza, la tensione di polarizzazione può essere presente solo quando vi è un segnale di ingresso. Quest'ultimo appare ai capi di R_g, in quanto il basso valore di reattanza capacitiva di C_g rende tale condensatore virtualmente pari ad un cortocircuito nei confronti del segnale di griglia. Detto segnale, ad andamento sinusoidale, rende la griglia alternativamente positiva e negativa rispetto al catodo.

Durante i semiperiodi positivi, la griglia viene ad assumere un potenziale positivo, per cui assorbe corrente. Quest'ultima determina una caduta di tensione ai capi di R_g, e tale tensione carica la capacità C_g fino al valore di picco della tensione del segnale. L'elettrodo del condensatore collegato alla griglia diventa allora negativo. Il percorso di questa carica avviene attraverso la valvola ed è indicato nella figura da una linea tratteggiata. Durante i semiperiodi negativi — invece — la griglia diventa negativa rispetto al catodo: C_g si scarica in parte attraverso R_g, (in parte, in quanto il valore di quest'ultima è elevato). Il percorso della corrente di scarica è indicato in tratto continuo. Il terminale superiore di R_g diventa negativo rispetto a quello inferiore, ossia rispetto a massa. Durante il semiperiodo positivo successivo del segnale di griglia, C_g riacquista la carica perduta, ricaricandosi ancora una volta fino al valore di picco della tensione del segnale.

La scarica di C_g attraverso R_g dà luogo ad una corrente continua pulsante, la quale — a sua volta — produce una tensione continua pulsante. Il valore medio di quest'ultima costituisce la tensione di polarizzazione.

Un secondo sistema di polarizzazione per dispersione di griglia è illustrato alla figura 4-**D**. In tal caso R_g è collegata direttamente in parallelo a C_g, ed il funzionamento è analogo a quello ora illustrato. L'unica differenza risiede nel diverso percorso della corrente di scarica della capacità che passa soltanto attraverso R_g: esso è indicato nella figura con tratto continuo.

Polarizzazione per potenziale di contatto

Il circuito che consente di ottenere una polarizzazione con questo sistema è simile ai due ora descritti: tuttavia, la tensione polarizzante non viene determinata dal segnale. Con questo sistema R_g è caratterizzata da un va-

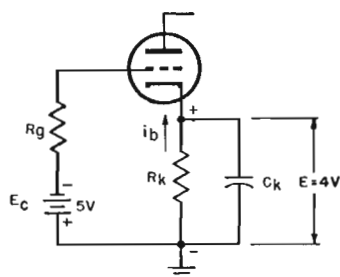



Fig. 5A — Sistema di polarizzazione combinata. La tensione desiderata è fornita in parte dalla batteria, ed in parte dalla caduta ai capi della resistenza di catodo.

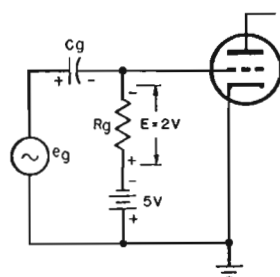



Fig. 5B — Altro sistema di polarizzazione combinata. La tensione viene fornita dalla batteria e dal segnale.

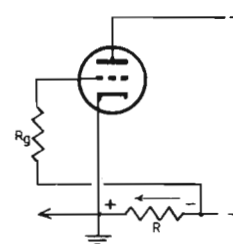



Fig. 6 — Polarizzazione fissa mediante una resistenza in serie al lato negativo dell'alimentazione. R_g fa capo al terminale di R più negativo che non quello a massa.

lore elevato, (dell'ordine di 10 Megaohm). In assenza di segnale sulla griglia, si forma una carica spaziale intorno al catodo. Dal momento che gli elettroni che la costituiscono sono negativi rispetto alla griglia, viene a crearsi una differenza di potenziale tra la griglia e la carica spaziale stessa. Tale d.d.p. determina, attraverso R_g, il passaggio di una debole corrente di griglia. Dato l'elevato valore di detta resistenza, questa corrente, anche se assai debole, provoca una certa caduta di tensione ai suoi capi, che costituisce la tensione di polarizzazione.

Polarizzazione combinata

Un altro tipo ancora di polarizzazione consiste nella polarizzazione combinata (**figura** 5), che riunisce le caratteristiche della polarizzazione fissa e di quella automatica. Nella sezione **A** della figura, la prima ammonta quindi a —5 volt, e la seconda (catodica) a —4 volt. La tensione totale ammonta quindi a —9 volt. Nella sezione **B** invece, la polarizzazione fissa ammonta a —5 volt, e l'autopolarizzazione (per corrente di griglia), ammonta a 2 volt. La tensione totale è quindi di —7 volt.

Il circuito della **figura 6** illustra infine un ultimo sistema. La resistenza di griglia, R_g, fa capo al terminale di una resistenza in serie all'alimentazione anodica (R), in corrispondenza del quale il potenziale equivale al massimo negativo. L'altro terminale, al quale fa capo il catodo, è invece leggermente più positivo, per cui la griglia viene ad essere negativa rispetto al catodo.

Il calcolo della resistenza da inserire sul lato negativo dell'alimentazione anodica viene effettuato, in questo caso, tenendo conto non solo della corrente anodica della valvola da polarizzare, ma anche di quella di tutti gli altri circuiti eventualmente alimentati dalla medesima sorgente: ciò perchè tutta la corrente anodica in gioco passa attraverso detta resistenza.

CLASSE degli AMPLIFICATORI

Amplificazione in classe A — Se la griglia di una valvola amplificatrice è polarizzata in modo che la corrente anodica scorra durante l'intero ciclo a c.a. del segnale, lo stadio prende il nome di « amplificatore in classe A ». Il funzionamento di una valvola in classe A è illustrato dalla curva caratteristica E_g-I_p della figura 1-B, nella quale è evidente che la corrente di placca è presente, sia durante il semiperiodo positivo del segnale applicato alla griglia, che durante quello negativo.

Il funzionamento della valvola in classe A viene scelto quando si desidera che l'andamento delle variazioni della corrente anodica sia un'esatta riproduzione, amplificata, della forma d'onda del segnale entrante in griglia. Da ciò deriva che la griglia deve essere polarizzata in modo tale da consentire alla valvola il funzionamento lungo il tratto rettilineo della sua curva E_g-I_p.

In questa classe si ha distorsione allorchè la polarizzazione non è corretta, oppure quando l'ampiezza del segnale applicato è eccessiva. La **figura 7-A** illustra la distorsione derivante da errata polarizzazione. Detta distorsione ha luogo in quanto la valvola funziona, in parte, lungo un tratto non lineare della curva caratteristica. Nella sezione **B** della figura 7 è illustrato il caso di distorsione per segnale eccessivo. Il segnale troppo ampio fa sì che la griglia assorba corrente durante i semiperiodi positivi, e interdica la corrente anodica durante i semiperiodi negativi. Naturalmente, ciò avviene solo per i valori opposti di picco del segnale stesso. Quando la griglia assume un potenziale positivo rispetto al catodo, la corrente di griglia che si forma viene fornita dallo stadio pilota, ossia dallo stadio precedente. Dal momento che esso, in linea di massima, non è in grado di fornire detta corrente, si verifica la cosiddetta « limitazione di griglia ». Il risultato è che parte del segnale di ingresso è dissipata nell'impedenza di pilotaggio, ed i picchi positivi vengono, di conseguenza, distorti.

Gli amplificatori in classe A sono caratterizzati da bassa distorsione, da bassa potenza di uscita, e da basso rendimento di placca (variabile dal 20 al 35 per cento).

Gli amplificatori di tensione vengono fatti funzionare generalmente in classe A.

Amplificazione in classe B — Se la griglia controllo di una valvola amplificatrice è polarizzata al valore di interdizione, in modo che la corrente anodica scorra soltanto durante i semiperiodi positivi del segnale a c.a. applicato, si dice che la valvola funziona come amplificatrice in classe B.

Tale sistema di amplificazione è illustrato alla **figura 8.** È facile notare che la corrente di placca in un amplificatore in classe B scorre solamente durante i semiperiodi positivi del segnale c.a. applicato alla griglia. Di conseguenza, l'andamento delle variazioni della corrente anodica (forma d'onda) non riproduce la forma d'onda della tensione di griglia. La valvola funziona come una rettifi-

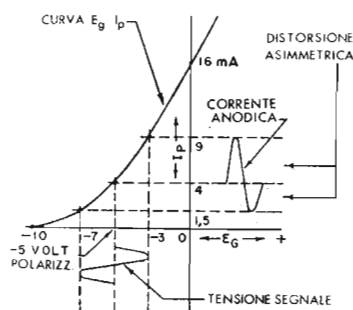



Fig. 7A — Distorsione provocata da errata polarizzazione. La valvola funziona, in tal caso, lungo un tratto non rettilineo della curva.

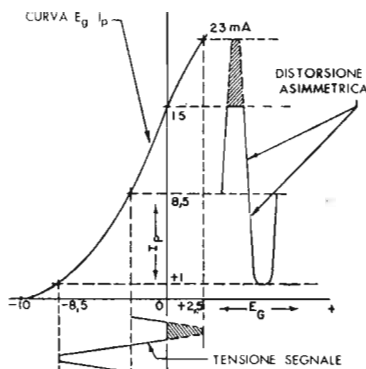



Fig. 7B — Distorsione per segnale eccessivo.

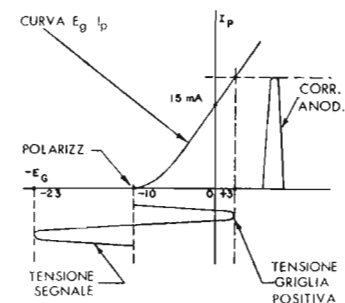



Fig. 8 — Curva di amplificazione in classe B. I_p scorre soltanto durante i semiperiodi positivi del segnale di ingresso.

catrice di una semionda.

Il segnale applicato alla griglia di una valvola amplificatrice in classe B è normalmente di valore molto più elevato in ampiezza di quello applicato nel caso di amplificazione in classe A. L'ampiezza è tale che la griglia assume un potenziale positivo rispetto al catodo, per cui si ha corrente di griglia.

Questo sistema di amplificazione è tra quelli usati negli amplificatori a Bassa Frequenza di potenza, in quanto permette un rendimento variabile dal 50 al 60%. Tale rendimento è possibile grazie al fatto che, in assenza de segnale di ingresso, non si ha corrente di placca e quindi non si ha dissipazione anodica. Ciò significa che, in confronto alla classe A, si ottiene minore dissipazione di placca e maggiore potenza d'uscita per una data potenza di entrata. La classe B viene impiegata perciò quando si desidera sviluppare una potenza d'uscita relativamente alta nel circuito di carico.

Quando si amplifica un segnale di frequenza acustica, si desidera una amplificazione scevra da distorsioni. Allo scopo di evitare l'alto tasso di distorsione presente all'uscita di una singola valvola funzionante in classe B, si usano due valvole funzionanti in fase opposta ossia in controfase (« push-pull »). Il funzionamento di questo circuito verrà dettagliatamente descritto più avanti, in questa stessa lezione.

Amplificazione in classe AB — È possibile realizzare un compromesso tra la bassa distorsione con basso rendimento dell'amplificazione in classe A, e l'alto rendimento con alta distorsione della amplificazione in classe B. Tale compromesso consiste nel polarizzare le griglie in modo tale che il funzionamento avvenga in un punto intermedio tra quello caratteristico delle due classi, ossia, le valvole sono polarizzate notevolmente, ma non fino al punto di interdizione. Ciò è noto come funzionamento in classe AB.

Se il segnale a c.a. applicato alle griglie viene mantenuto ad una ampiezza abbastanza piccola da impedire la presenza della corrente di griglia, il funzionamento avvene in condizioni dette di classe AB_1. Se il segnale è abbastanza ampio da causare la presenza di una corrente di griglia durante i picchi positivi, il funzionamento è detto in classe AB_2.

Amplificazione in classe C — Se la tensione di polarizzazione di griglia di uno stadio amplificatore è notevolmente più alta del valore di interdizione, la valvola funziona come amplificatrice in classe C. Il funzionamento in tali condizioni è illustrato alla **figura 9.** Si può notare in essa che la polarizzazione è di 20 volt, ossia pari al doppio del potenziale di interdizione. In questo caso la corrente di placca scorre soltanto durante la parte del semiperiodo positivo del segnale alternato di ingresso, nella quale la tensione è più alta del valore di polarizzazione di interdizione. In altre parole, la corrente anodica è presente soltanto durante i picchi dei semiperiodi positivi del segnale entrante.

La curva dimostra che l'ampiezza del segnale deve essere notevolmente maggiore della tensione di polarizzazione della corrente anodica.

Quasi tutti gli stadi amplificatori di potenza ad Alta Frequenza nei radio trasmettitori funzionano in classe C. I circuiti sintonizzati in parallelo usati come carichi di placca in tali amplificatori, convertono la forma d'onda pulsante della tensione d'uscita in una forma sinusoidale, grazie all'effetto « volano ».

Il funzionamento in classe C permette un alto rendimento, variabile dal 70 all'85 per cento. L'efficienza è è così alta in quanto la corrente anodica scorre soltanto durante una piccola parte di ogni ciclo. Gli amplificatori in classe C non vengono mai usati per amplificazione a Bassa Frequenza, data la forte distorsione presente all'uscita.

DISTORSIONE

La distorsione negli amplificatori può essere di tre tipi differenti: distorsione *di ampiezza, di frequenza* e *di fase.*

La distorsione di ampiezza è causata dal funzionamento lungo il tratto non lineare della curva caratteristica, come è illustrato nelle figure 5 e 6. Negli amplificatori a Bassa Frequenza, la polarizzazione per il funzionamento in classe A deve essere tenuta entro un valore della curva caratteristica E_g-I_p tale che la tensione del segnale faccia variare la tensione di griglia soltanto lungo il tratto rettilineo della curva.

La distorsione di frequenza si ha quando non tutte le frequenze del segnale di ingresso risultano egualmente amplificate all'uscita dell'amplificatore. Tale tipo di distorsione può essere corretto mediante l'uso di componenti di valore appropriato, e mediante una progettazione corretta dell'intero circuito.

La distorsione di fase, infine, si verifica quando i rap-

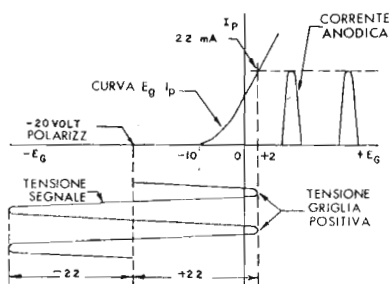



Fig. 9 — Curva di amplificazione in classe C. La corrente anodica scorre solo durante i picchi dei semiperiodi positivi del segnale entrante.

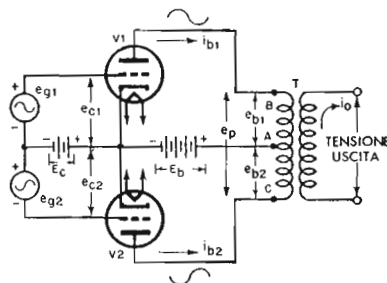



Fig. 10 — Circuito di amplificazione in controfase. I segnali delle due placche sono di fase opposta, e si integrano nel primario di T.

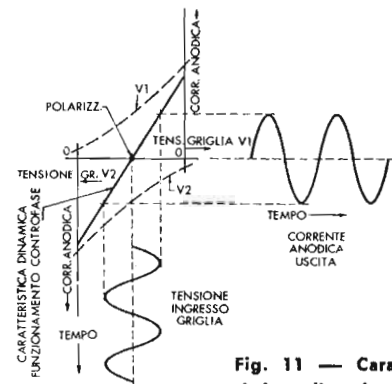



Fig. 11 — Caratteristica dinamica di due valvole funzionanti in controfase.

porti di fase delle varie frequenze contenute nel segnale di ingresso sono spostati in modo tale che la forma d'onda presente in uscita risulta diversa da quella di entrata, sebbene l'amplificazione in ampiezza avvenga in egual misura per tutte le frequenze.

Le distorsioni di frequenza e di fase diventano molto pronunciate negli amplificatori a Bassa Frequenza, all'estremità più alta ed a quella più bassa della gamma di frequenza, e ciò è dovuto al fatto che i componenti del circuito si comportano da « shunt » per il carico nei confronti delle frequenze più alte, e da resistenze in serie con elevata impedenza, e quindi con una certa attenuazione, nei confronti delle frequenze più basse.

Tutto ciò valga come semplice premessa, in quanto la distorsione sarà oggetto di una dettagliata lezione futura.

FUNZIONAMENTO di uno STADIO in CONTROFASE

Uno stadio di amplificazione in controfase (in inglese « push-pull ») consiste in due valvole i cui segnali di griglia e di placca sono reciprocamente sfasati di 180°. Esse possono funzionare in classe A, AB, oppure B. I circuiti di questo tipo sono usati frequentemente negli amplificatori di Bassa Frequenza, poichè consentono distorsione minore nei confronti di quelli costituiti da una sola valvola, maggiore potenza d'uscita e maggior rendimento.

La **figura 10** illustra il circuito di un amplificatore « push-pull » a triodi. Le sezioni superiori ed inferiori del circuito sono eguali. I triodi *V1* e *V2* sono del medesimo tipo, per cui hanno caratteristiche simili. I due segnali di griglia, e_{g1} ed e_{g2}, hanno la medesima ampiezza e frequenza, ma sono reciprocamente sfasati di 180°. A fornire alle due valvole le tensioni di polarizzazione e anodica, provvedono due distinte batterie. Il trasformatore *T* agisce da carico nei confronti del circuito. Il primario è provvisto di presa centrale (punto *A*) in modo che le tensioni di uscita, e_{b1} ed e_{b2}, abbiano la medesima ampiezza. Le correnti anodiche i_{b1} ed i_{b2} sono anche di eguale intensità.

I simboli che rappresentano le varie tensioni e correnti sono simili a quelli usati nei confronti di un circuito costituito da un semplice triodo. L'esponente al piede « 1 » viene usato per indicare la tensione o la corrente riferita alla valvola *V1*. Analogamente, l'esponente « 2 » indica la tensione o la corrente riferita alla valvola *V2*. Ad esempio, e_{g1} è il valore istantaneo della tensione del segnale di griglia applicato a *V1*; i_{b2} è il valore istantaneo della corrente anodica che scorre nel circuito di placca di *V2*, e così via. La tensione istantanea presente ai capi dell'intero avvolgimento primario è e_p. Il valore istantaneo della corrente che circola nel secondario è i_o.

Allorchè nessun segnale è applicato all'ingresso del circuito a « push-pull » la corrente che circola nel secondario del trasformatore *T*, ossia i_o, è pari a zero. Dal momento che la componente continua della corrente anodica non induce alcuna tensione nel secondario, la corrente secondaria è appunto zero. La corrente continua di placca della valvola *V1* scorre — come è ben noto — dal catodo alla placca, attraverso la metà superiore dell'avvolgimento primario (dal punto *B* al punto *A*), dopo di che ritorna al catodo. La corrente anodica di *V2* scorre anch'essa dal catodo alla placca, percorre la metà inferiore del primario di *T* (dal punto *C* al punto *A*), e torna quindi al catodo.

I punti *B* e *C* hanno un potenziale negativo eguale nei confronti del punto *A* in quanto le intensità delle correnti di placca sono eguali. I campi magnetici relativi si neutralizzano a vicenda evitando la saturazione del nucleo.

Allorchè due segnali alternati sinusoidali, e_{g1} ed e_{g2}, vengono applicati alle rispettive griglie, nel primario del trasformatore *T* scorrono due correnti anodiche sinusoidali, i_{b1} ed i_{b2}. La prima di esse è sfasata di 180° nei confronti della seconda, e ciò perchè i segnali alle due griglie hanno, anch'essi, 180° di sfasamento.

Durante l'alternanza positiva di i_{b1}, il punto *B* del primario diventa più negativo nei confronti di *A*. Nello stesso tempo, la caduta di i_{b2} fa si che il punto *C* diventi — nei confronti di *A* — meno negativo, di un eguale ammontare. Possiamo dedurre che la tensione presente ai capi dell'intero primario, e_p, corrisponde a due volte il valore sia di e_{b1} che di e_{b2}. In altre parole, si ha che: $e_p = e_{b1} + e_{b2}$.

Durante il semiperiodo successivo, tutte le polarità si invertono. La relazione or ora espressa sarà ancora valida e, in effetti, risulta valida per tutti i valori istantanei della corrente di placca.

Il trasformatore *T* accoppia l'uscita dell'amplificatore a « push-pull » ad un altro circuito.

Uno dei metodi di uso comune per ottenere uno sfasamento di 180° tra i due segnali di ingresso da applicare alle griglie di *V1* e *V2* è quello « a trasformatore ». Consiste nell'impiego di un trasformatore il cui primario è collegato alla sorgente del segnale. Quest'ultima può es-

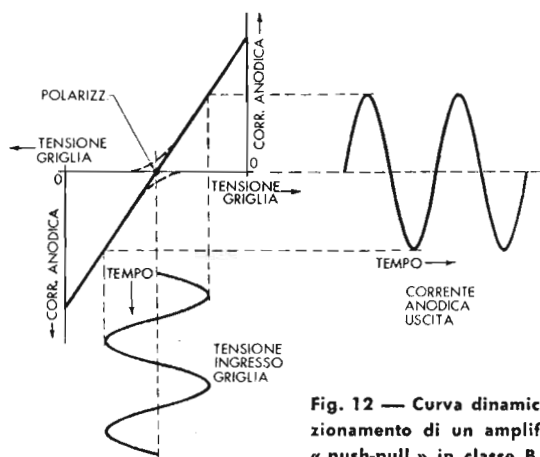



Fig. 12 — Curva dinamica di funzionamento di un amplificatore a « push-pull » in classe B.

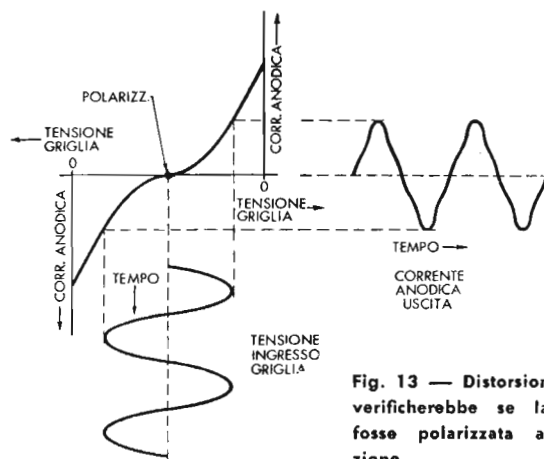



Fig. 13 — Distorsione che si verificherebbe se la griglia fosse polarizzata all'interdizione.

sere sia una valvola che costituisce uno stadio precedente di amplificazione, come qualsiasi altra fonte. Il secondario è provvisto di una presa centrale, e le estremità dell'avvolgimento sono collegate rispettivamente alle griglie di *V1* e *V2*. La presa centrale è collegata al lato negativo della sorgente di tensione di polarizzazione.

Allorchè ai capi del primario viene applicata una tensione alternata sinusoidale, ai capi del secondario si manifestano due tensioni sinusoidali. Esse sono sfasate reciprocamente di 180° grazie alla presenza della presa centrale. Infatti, tale presa costituisce — come è noto — il punto neutro durante qualsiasi istante di ogni alternanza. Di conseguenza, mentre una delle estremità presenta la massima tensione positiva, l'estremità opposta presenta la massima tensione negativa, e viceversa.

Caratteristiche dinamiche per il funzionamento in controfase

La caratteristica dinamica relativa a due valvole funzionanti in controfase, viene dedotta dalle caratteristiche dinamiche individuali delle valvole. La **figura 11** illustra una caratteristica dinamica di due valvole funzionanti in controfase ed in classe A. Viene ricavata nel modo seguente: la curva tratteggiata, contrassegnata *V1*, rappresenta la caratteristica dinamica di una valvola, e la curva tratteggiata *V2* rappresenta la caratteristica dinamica dell'altra. Tali caratteristiche sono tra loro identiche; dal momento che le correnti anodiche delle due valvole sono sfasate di 180°, esse sono rappresentate con tale sfasamento, e in modo che l'asse orizzontale del grafico sia comune ad entrambe.

Le curve sono, inoltre, allineate verticalmente, in modo che il punto corrispondente alla tensione di polarizzazione di una delle valvole (punto di lavoro) si trovi in coincidenza a quello relativo all'altra valvola.

Ad esempio, se $E_g = -5$ volt, questo valore di tensione si verifica nel medesimo punto su entrambi gli assi della tensione di griglia. La caratteristica dinamica risultante si ha sommando algebricamente i valori istantanei della corrente di placca, corrispondenti ai diversi valori della tensione del segnale di griglia.

In uno stadio di amplificazione singolo, funzionante in classe A, ha luogo una distorsione lieve nella forma d'onda della corrente anodica, perchè il segnale di griglia lavora lungo il tratto più lineare della caratteristica dinamica. Nel caso del funzionamento in controfase, detta distorsione è ancora minore, grazie al fatto che la caratteristica dinamica è ancora più lineare.

Se si proiettano vari punti del segnale di ingresso sulle curve della caratteristica dinamica (come illustrato dalle linee verticali ed orizzontali tratteggiate nella figura) si ottiene la forma d'onda della corrente che circola nel circuito d'uscita.

Una delle caratteristiche più salienti dello stadio in controfase consiste nel fatto che è possibile applicare variazioni maggiori della tensione di griglia, senza peraltro causare distorsione apprezzabile. Il motivo di ciò sta nel fatto che la caratteristica dinamica resta lineare per una variazione maggiore di tensione. È ovvio che, se è possibile applicare variazioni di tensione del segnale di maggiore entità, si ottiene anche una potenza d'uscita maggiore. Il rendimento di uno stadio di amplificazione in controfase funzionante in classe A può raggiungere il 30%, per contro, nel funzionamento con una sola valvola, il rendimento non supera il 20%.

Il funzionamento in controfase in classe AB, è altrettanto possibile e frequente. La caratteristica dinamica risultante viene ottenuta in modo analogo a quello illustrato alla figura 11. Il vantaggio principale del funzionamento in classe AB nei confronti di quello in classe A consiste nel fatto che le variazioni consentite nella tensione di griglia sono ancora maggiori, in quanto la curva caratteristica risultante ha una lunghezza maggiore. Ciò consente una potenza d'uscita più elevata, ed un rendimento migliore, (raggiunge infatti il 55%).

La **figura 12** illustra la caratteristica risultante, di uno stadio di amplificazione in controfase funzionante in classe B. La tensione di polarizzazione è — in questo caso — molto più prossima al valore di interdizione della corrente anodica che non nel caso del funzionamento in classe AB. La forma d'onda della corrente anodica è praticamente priva di distorsione.

Si noti che l'ammontare della polarizzazione non è esattamente del valore necessario per portare la corrente anodica all'interdizione. Se si adottasse detto valore, si verificherebbe una certa distorsione (**figura 13**). In questo caso, la caratteristica dinamica risultante sarebbe caratterizzata da una forma ad S, e determinerebbe una notevole distorsione della forma d'onda della corrente di placca. Nel funzionamento in classe B, il rendimento di placca può raggiungere il 60 ed anche il 65%.

IL VOLTMETRO a VALVOLA

IL PRINCIPIO di FUNZIONAMENTO del VOLTMETRO a VALVOLA

Il voltmetro a valvola, noto anche col nome di voltmetro elettronico, è un apparecchio atto alla misura di tensioni a corrente alternata ed a corrente continua, costituito da una o più valvole termoioniche, collegate in un circuito contenente uno strumento indicatore.

La tensione di alimentazione necessaria per il funzionamento delle valvole viene ricavata, solitamente, da un alimentatore incorporato nell'apparecchiatura, che trasforma e rettifica opportunamente la tensione alternata di rete; in certi casi, tale tensione di alimentazione è fornita da batterie contenute nello strumento stesso.

Allo scopo di poter misurare tensioni molto elevate a corrente continua e tensioni a corrente alternata entro una vasta gamma di frequenza, si ricorre all'uso di tipi speciali di puntali detti **sonde** (in inglese: « probe ») del cui impiego e del cui funzionamento diremo più avanti.

La caratteristica più saliente del voltmetro elettronico nei confronti degli altri voltmetri, consiste nel fatto che esso permette la misura delle tensioni senza per altro costituire praticamente carico nei riguardi del circuito sotto misura. Le normali condizioni di funzionamento dell'apparecchiatura restano pressochè invariate, in quanto la corrente assorbita dal voltmetro a valvola per effettuare la misura è di entità del tutto trascurabile. Tale prerogativa si dimostra ovviamente vantaggiosa in modo particolare nel controllo dei circuiti funzionanti con deboli correnti, nei quali l'uso di un voltmetro del tipo convenzionale provocherebbe, per il suo carico, delle variazioni nelle condizioni di funzionamento e, per conseguenza, porterebbe a letture errate.

Il voltmetro a valvola può essere utilizzato per la misura di tensioni a c.a. in una gamma di frequenza che si estende da 5 o 10 Hertz a diverse centinaia di Megahertz. Esistono strumenti di questo tipo, di progettazione particolare, aventi una frequenza massima di funzionamento pari a diverse migliaia di Megahertz; servono particolarmente per il controllo delle apparecchiature impiegate nel campo delle frequenze molto elevate.

Il voltmetro elettronico si rende utile per misurare basse tensioni in circuiti ad alta impedenza: l'impedenza di ingresso dello strumento ha, infatti, quasi sempre un valore di 10 o più Megaohm. Dato ciò, l'assorbimento di corrente da parte del circuito di ingresso del voltmetro è del tutto trascurabile allorchè viene collegato in parallelo al circuito sotto prova: la misura di tensioni basse può essere effettuata perciò con notevole precisione. Come si è detto, i voltmetri di tipo convenzionale presentano un'impedenza di ingresso notevolmente inferiore, specialmente nelle portate basse, per cui costituiscono un carico che assorbe una determinata quantità di corrente: da qui l'errore di lettura.

VOLTMETRO a VALVOLA BASILARE per C. C.

Il tipo più semplice di voltmetro a valvola consiste in un diodo, un milliamperometro per corrente continua ed una resistenza di carico collegata in serie alla tensione da misurare, come è illustrato nella **figura 1.** Allorchè ai terminali di ingresso viene applicata una tensione di valore incognito, E_x, avente la polarità appropriata, la placca del diodo assume un potenziale positivo nei confronti del catodo, per cui si ha un passaggio di corrente attraverso l'intero circuito. Tale flusso di corrente, essendo direttamente proporzionale alla tensione applicata, provoca una corrispondente deviazione da parte dell'indice dello strumento.

Dal momento che l'impedenza di ingresso di un circuito con diodo in serie è relativamente bassa, si ricorre all'uso di una resistenza di carico onde aumentare il valore e rendere minima l'influenza del carico applicato al circuito sotto prova. Tuttavia, se detta resistenza è abbastanza grande da corrispondere al valore di impedenza richiesto, si rende necessario impiegare un microamperometro molto sensibile onde ottenere spostamenti apprezzabili dell'indice in considerazione anche dell'intensità molto limitata della corrente che circola. Per questo motivo, il valore della resistenza di carico deve essere un compromesso tra l'impedenza più adatta e la quantità di corrente che deve scorrere affinchè la deviazione dell'indice sia tale da permettere una lettura. Questo problema viene facilmente risolto usando un triodo al posto del diodo.

Il circuito semplificato di un voltmetro elettronico è illustrato alla **figura 2-A**, e consiste in un triodo, in una sorgente di tensione anodica, in una seconda sorgente di energia che fornisce la tensione necessaria per la polarizzazione di griglia, ed in un milliamperometro per c.c. tarato in modo tale da permettere la lettura diretta delle tensioni applicate tra la griglia ed il catodo della valvola. La polarizzazione negativa di 5 volt applicata alla valvola fa coincidere il punto di funzionamento con quello di interdizione, come appare evidente nella curva caratteristica (figura 2-**B**) che espone l'andamento della corrente di placca in funzione della tensione di griglia. Se

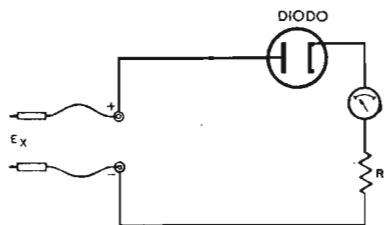



Fig. 1 — Circuito elementare di un voltmetro a valvola. Esso è del tutto simile a quelli dei comuni « tester ». La sola differenza risiede nel fatto che la rettificazione avviene ad opera di un diodo, e, in questo caso, su una sola semionda.

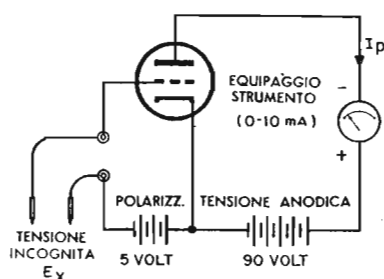



Fig. 2A — Voltmetro elettronico impiegante un triodo che funziona in classe B. La griglia è polarizzata all'interdizione, ed I_p esiste quando alla griglia viene applicato una tensione positiva.

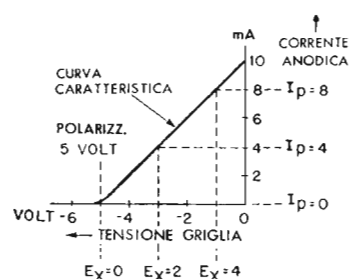



Fig. 2B — Grafico illustrante il funzionamento del circuito di figura 2A. I_p si manifesta soltanto quando la tensione da misurare E_x è positiva.

nessuna tensione viene applicata alla griglia della valvola non si ha corrente anodica, per cui l'indice dello strumento resta in posizione di zero. Non appena ai terminali di ingresso viene applicata una differenza di potenziale in modo tale che la griglia assuma una tensione meno negativa, si manifesta immediatamente la presenza di una corrente anodica che provoca lo spostamento dell'indice del milliamperometro.

Dal momento che la tensione applicata, E_x, determina il funzionamento della valvola lungo il tratto rettilineo della curva caratteristica, l'aumento della corrente di placca è direttamente proporzionale. Ad esempio, se al circuito di ingresso dello strumento si applica una tensione, E_x pari a +2 volt, la tensione di polarizzazione della griglia si riduce a —5+2 volt = —3 volt, per cui si ha una corrente anodica di 4 milliampère nel circuito di placca, e l'indice dello strumento subisce una deviazione proporzionale a tale corrente. Ciò è illustrato dalla figura 2-B mediante le linee tratteggiate orizzontali e verticali, le quali incontrano la curva caratteristica della valvola nei punti indicati. Quando E_x è eguale a +4 volt, I_p è eguale a 8 milliampère; i valori intermedi di tensione possono essere determinati mediante la curva caratteristica, per valori di E_x compresi tra 0 e +5 volt. La scala dello strumento può essere tarata direttamente in volt.

Il circuito semplificato a triodo ora descritto ha un numero limitato di applicazioni, in quanto può essere usato soltanto per la misura di tensioni continue fino al valore massimo di 5 volt. I voltmetri elettronici di produzione commerciale sono invece costruiti in modo tale da permettere la misura di tensioni sia a c.a. che a c.c., con un certo numero di portate differenti che si estendono da pochi millivolt a diverse migliaia di volt.

VOLTMETRO a VALVOLA BASILARE per C. A.

La **figura 3-A** illustra un semplice circuito adatto alla misura di tensioni alternate. Sebbene tale circuito sia eguale a quello ora visto per la misura di tensioni continue, esso può — tuttavia — essere impiegato per misurare tensioni alternate comprese tra 0 e 5 volt, con una gamma di frequenze molto ampia.

Negli istanti in cui nessuna tensione E_x viene applicata ai terminali di ingresso, la valvola è in interdizione a causa della tensione negativa di polarizzazione di 5 volt presente sulla griglia: in assenza di corrente anodica, lo strumento indica zero. Questo punto è messo in evidenza sulla curva caratteristica tensione di griglia/corrente anodica, alla figura 3-**B**. Non appena ai terminali di ingresso viene applicata una tensione alternata, le alternanze positive riducono la tensione negativa di polarizzazione in proporzione diretta rispetto all'ampiezza dello stesso semiperiodo positivo, per cui all'interno della valvola si manifesta una corrente anodica.

Dal momento che la valvola è polarizzata al punto di interdizione, le alternanze negative, invece, non hanno alcun effetto sulle condizioni del circuito: infatti, se la polarizzazione negativa di griglia assume valori superiori a —5 volt, la corrente resta zero in quanto non può certo assumere valori inferiori.

La presenza della corrente durante le alternanze positive della tensione alternata applicata alla griglia, produce impulsi di corrente aventi la forma d'onda illustrata alla figura 3-B.

A causa della sua inerzia, l'indice dello strumento non può seguire l'andamento di tali impulsi, per cui esso non ne indica il valore di picco, bensì indica il valore medio della corrente circolante nel circuito di placca. Un esame della forma d'onda della corrente di placca ci mostra che il valore medio di detti impulsi, alla corrente anodica massima, è di 3,2 milliampère. Scegliendo uno strumento che necessiti di tale corrente per la completa deviazione dell'indice fino all'estremità destra della scala, detta deviazione massima ha luogo allorchè il valore di picco delle alternanze positive della tensione d'ingresso ammonta a 5 volt, e la tensione di polarizzazione della griglia è ridotta a zero.

La scala dello strumento può essere tarata in valori di picco della tensione alternata da misurare, in quanto la corrente che percorre lo strumento viene determinata dalla tensione applicata all'ingresso. I voltmetri elettronici per c.a. possono, comunque, essere tarati per indicare valori di tensione medi, di picco, o efficaci.

LE SONDE

Per « probe » o sonda si intende un puntale espressamente progettato per l'uso con un determinato strumento di misura, e collegato ai terminali d'ingresso del voltmetro mediante un apposito cavo. Alcuni tipi di sonda aumentano e altri diminuiscono la resistenza o la capacità di ingresso del voltmetro; altri tipi isolano il volt-

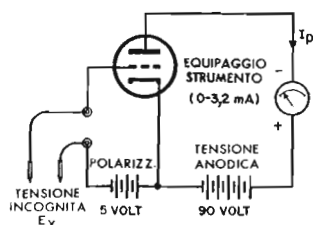



Fig. 3A — Semplice voltmetro a valvola per misure in c.a. È identico al precedente, e funziona del pari in classe B. Le semionde positive del segnale determinano una certa corrente anodica.

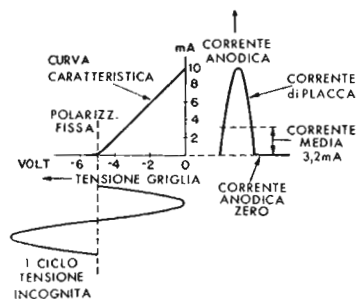



Fig. 3B — Analisi grafica del funzionamento del circuito di figura 3A. La corrente anodica si manifesta soltanto durante i semiperiodi positivi del segnale applicato (da misurare).

metro nei confronti della c.c. e rendono minimo l'effetto di carico da parte del voltmetro per c.c. allorchè si effettuano misure su circuiti percorsi contemporaneamente da tensioni a Bassa Frequenza ed a radio frequenza. Altri tipi di sonda infine, comportano resistenze di valore molto alto e agiscono come moltiplicatori di portata.

Nei casi in cui la tensione da misurare debba essere rettificata prima dell'applicazione all'ingresso dello strumento, nella sonda viene solitamente incorporato l'elemento rettificante.

Il tipo più semplice di sonda usato con i voltmetri elettronici nella misura di tensioni a c.c. è quello che reca all'interno una resistenza in serie. Il valore di tale resistenza può essere compreso tra 1 e 5 Megaohm, tuttavia il valore di 1 Megaohm è quello più usato. Il compito di questa resistenza consiste nel rendere minimo il carico applicato durante la misura, e nell'evitare lo spostamento di sintonia di un circuito mentre si effettuano su di esso misure di tensione a corrente continua.

Un tipo di sonda usato per misurare tensione a c.a. incorpora un piccolo condensatore, della capacità approssimativa di 0,5 pF, collegato in serie al circuito d'ingresso.

Tale capacità riduce quella d'ingresso del voltmetro ad un valore molto basso per cui rende minimo l'effetto dello spostamento di sintonia mentre si effettuano misure di c.a. sui circuiti sintonizzati. Oltre a ciò, la capacità blocca l'entrata a qualsiasi componente continua presente insieme al segnale da misurare, evitando errori nella lettura.

La sonda a cristallo di germanio offre la caratteristica di una risposta uniforme su ampia gamma di frequenza, e di una bassa capacità di entrata: viene impiegata molto spesso per la misura di tensioni a frequenza molto elevata. Il suo unico svantaggio consiste nel fatto che non possono essere applicate tensioni elevate.

TIPI di VOLTMETRI ELETTRONICI

Voltmetro elettronico a rettificatore-amplificatore

La **figura 4** illustra lo schema funzionale di un voltmetro a valvola atto all'impiego per il controllo degli apparecchi per radio comunicazioni; la **figura 5** ne illustra invece lo schema elettrico di principio. Si possono misurare tensioni continue e alternate su diverse portate impiegando moltiplicatori esterni.

La sezione amplificatrice del voltmetro contiene due triodi, V_2 e V_3, collegati in un circuito bilanciato detto anche «differenziale». La sensibilità propria dello strumento ammonta a 200 microampère c.c. ed esso è inserito nella sezione amplificatrice. Per la misura di tensioni alternate si ricorre all'uso di una sonda munita di rettificatore, che viene collegata ai terminali di ingresso dell'amplificatore attraverso un cavo schermato di lunghezza ridotta. Le tensioni di funzionamento delle valvole vengono ricavate da un alimentatore incorporato (non illustrato per brevità) ed ogni portata, sia in c.a. che in c.c., viene scelta mediante pulsanti disposti sul pannello frontale dell'apparecchio.

Lo schema elettrico della sezione amplificatrice illustrato alla figura 5, è un circuito amplificatore di c.c. bilanciato. Il sistema di commutazione dello strumento consente la misura di tensioni continue negative nella posizione illustrata nella sezione **A** e di tensioni continue positive nella posizione illustrata dalla sezione **B.** La tensione di alimentazione di 300 volt viene divisa in modo tale che le placche dei due triodi vengono polarizzate con una tensione positiva di 150 volt attraverso il potenziometro R_5, mentre ai catodi delle valvole viene applicata una tensione negativa. Il potenziometro R_5 serve per la regolazione dell'indicazione 0 (azzeramento) dello strumento e può essere regolato mediante apposita manopola presente sul pannello. Esso consente la regolazione della tensione di placca mediante la compensazione delle eventuali differenze tra le caratteristiche delle due valvole.

Il microampèrometro per c.c. è collegato in serie alle resistenze R_A ed R_B necessarie per la taratura delle portate; il circuito in serie costituito dallo strumento e da queste due resistenze, è collegato tra i due catodi.

Se le tensioni di polarizzazione delle placche delle due valvole sono eguali, e nessuna tensione viene applicata ai terminali d'ingresso del voltmetro, le due correnti anodiche sono eguali. Ne consegue che, dal momento che correnti eguali percorrono entrambe le resistenze catodiche (che sono di pari valore), ai capi di queste ultime si ottiene la medesima caduta di tensione, per cui i catodi hanno il medesimo potenziale e lo strumento indica 0. Non appena una tensione di valore sconosciuto viene applicata alla griglia di una delle valvole, si ha una differenza tra le due correnti anodiche (una valvola assorbe più corrente dell'altra) che provoca uno sbilanciamento

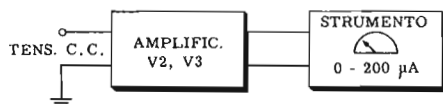



Fig. 4A — Rappresentazione a « blocchi » di un voltmetro amplificatore. Il voltmetro vero e proprio è preceduto da un amplificatore che consente la misura di tensioni deboli, non misurabili con un semplice « tester ».

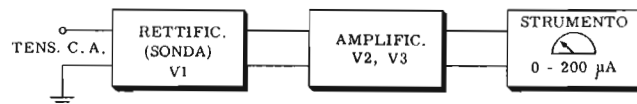



Fig. 4B — Rappresentazione a « blocchi » di un voltmetro amplificatore più complesso del precedente. Questo aggiunge infatti alle prerogative dell'altro la presenza di un « probe » (sonda), nel quale è installato un elemento rettificatore. Esso può essere un diodo a valvola o a cristallo, e consente la misura in corrente alternata.

nel circuito, per cui si ha un passaggio di corrente attraverso lo strumento. Tarando opportunamente la scala di quest'ultimo, l'ammontare della deflessione dell'indice è resa proporzionale al valore della tensione applicata.

Se alla griglia di V_2 nel circuito della sezione A, si applica una tensione negativa di 10 volt, la tensione presente ai capi di R_{25} determina una tensione meno positiva sul catodo della medesima valvola, per cui il catodo di V_3 diventa più positivo. In questo caso, si ha un passaggio di corrente tra il catodo di V_2 e quello di V_3, attraverso lo strumento e le resistenze di taratura R_A ed R_B, per cui l'indice dello strumento subisce una deviazione. Dal momento che tale deviazione è proporzionale al valore della tensione incognita applicata alla griglia della valvola, la posizione assunta dall'indice può essere contrassegnata col valore di 10 volt sulla scala dello strumento.

Se la tensione incognita ha una polarità positiva, essa viene applicata alla griglia di V_3, come è illustrato nella sezione B. In questo caso la tensione positiva presente sulla griglia rende il catodo della valvola più positivo che non quello di V_2, per cui si ha un passaggio di corrente, attraverso lo strumento, da V_2 a V_3. La corrente percorre lo strumento nel medesimo senso nella misura di tensioni sia positive che negative. Nel complesso viene inserito un commutatore, a due vie, che permette di collegare la tensione da misurare alla griglia di una valvola o a quella dell'altra. La griglia della valvola alla quale non viene applicata la tensione incognita viene collegata a massa per ottemperare alle condizioni di funzionamento.

Per ogni portata vengono commutati gruppi di resistenze collegate in serie allo strumento. Una di tali resistenze, e precisamente quella indicata R_A, è sempre fissa, mentre l'altra, R_B, è variabile per permettere una messa a punto esatta dello strumento. Tali resistenze agiscono da moltiplicatori di portata, e, allorchè la tensione da misurare aumenta di valore, il valore delle resistenze deve aumentare proporzionalmente affinchè la quantità di corrente che passa attraverso lo strumento sia limitata al valore massimo di 200 microampère richiesto per la deviazione completa dell'indice dello strumento.

Questo circuito presenta notevole stabilità per le portate più alte, ma, nelle portate inferiori a 3 volt a fondo scala, la resistenza R_B che si trova in serie allo strumento risulta di valore basso, e la stabilità del circuito non è altrettanto buona come sulle alte portate.

Nella misura di tensioni alternate si usa una sonda contenente un doppio diodo il quale rettifica detta tensione prima che essa venga applicata all'ingresso del circuito amplificatore, come è illustrato alla **figura 6**. Sebbene tale doppio diodo sia illustrato in prossimità del circuito applicatore, esso è, in realtà — come si è accennato — alloggiato all'interno della sonda e collegato al circuito del voltmetro mediante un cavo schermato.

La tensione da misurare viene applicata alla prima metà del doppio diodo, e precisamente a $V_{1\text{-}A}$, mentre l'altra metà, $V_{1\text{-}B}$, è collegata alla griglia di V_3.

Quando nessuna tensione viene applicata al primo diodo rettificatore ($V_{1\text{-}A}$), la placca di quest'ultimo è polarizzata con un potenziale di circa 1 volt negativo rispetto a massa. Questo potenziale, detto « di contatto », è conseguenza — come sappiamo — degli elettroni che si staccano dal catodo incandescente con velocità sufficiente per raggiungere comunque la placca. Il movimento di questi elettroni determina una caduta di tensione di circa 1 volt, ai capi della resistenza di placca, ed è presente sulla griglia di V_2 per cui provoca uno sbilanciamento nel circuito amplificatore. Per ristabilire l'equilibrio e bilanciare nuovamente il circuito, si applica un potenziale eguale alla griglia di V_3, collegando ad essa la sezione del secondo diodo rettificatore ($V_{1\text{-}B}$). Il valore esatto del potenziale di contatto necessario per neutralizzare l'effetto della tensione presente alla griglia di V_2 viene ottenuto regolando il potenziometro R_3 sino a che si ha l'indicazione di 0 da parte dello strumento.

Il diodo $V_{1\text{-}A}$ funge da rettificatore di una semionda, e la corrente rettificata che scorre attraverso R_1 ed R_4, rende negativa la griglia di V_2. Tale tensione negativa compromette l'equilibrio del circuito e determina un passaggio di corrente attraverso lo strumento, proporzionale alla tensione applicata. La capacità C_2 filtra la tensione rettificata e C_1 serve a bloccare qualsiasi componente continua presente nella tensione da misurare.

Per ogni portata in c.a. sono necessarie varie serie di resistenze di taratura. La scala dello strumento, per le portate inferiori a 3 volt, non è lineare, in quanto il diodo non effettua una rettificazione lineare con basse tensioni.

Alloggiando il rettificatore all'interno della sonda si può usare l'amplificatore tipico per c.c. anche per tutte le misure in c.a. Quando la tensione alternata applicata viene rettificata nella sonda, è possibile effettuare misure

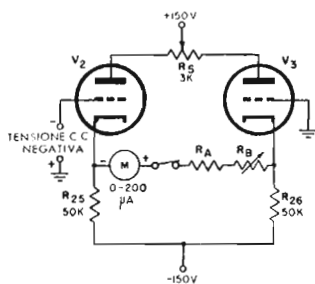



Fig. 5A — Voltmetro elettronico a circuito bilanciato. È adatto alla misura di tensioni continue negative. La resistenza R_B può assumere vari valori, mediante un commutatore, per le varie portate a fondo scala.

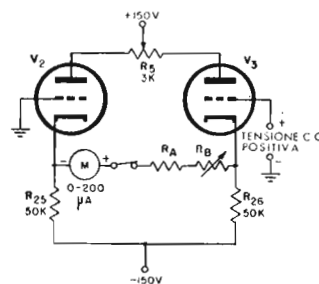



Fig. 5B — Circuito identico al precedente, ma adattato alla misura di tensioni continue positive. Il passaggio da un circuito all'altro avviene mediante la rotazione di un apposito commutatore.

su una gamma di frequenze molto ampia, in quanto la capacità e l'induttanza del cavo non hanno alcun effetto pratico sulle tensioni continue che trasferiscono.

Voltmetro elettronico amplificatore

Sebbene il tipo di voltmetro rettificatore-amplificatore possa misurare tensioni in una ampia gamma di frequenze, la sua sensibilità è limitata, in quanto i segnali di ampiezza ridotta — dell'ordine cioè dei millivolt — non possono essere misurati.

Mediante l'uso di uno o più stadi di amplificazione posti immediatamente prima dell'elemento rettificatore, si possono amplificare le tensioni anche dell'ordine dei microvolt, in modo tale da rendere pratica la misura mediante lo strumento. A causa della discrimazione di frequenza che si verifica attraverso detti stadi di amplificazione aggiunti, il voltmetro elettronico amplificatore-rettificatore non è utilizzabile per la misura di tensioni a frequenza molto elevata. Tuttavia, esso è molto utile nella misura di tensioni a frequenza acustica: a radio frequenza può comunque giungere fino ad alcuni Megahertz.

A seconda del tipo particolare di circuito predisposto, e a seconda delle sue applicazioni, il voltmetro elettronico prende il nome di voltmetro per Bassa Frequenza, logaritmico, o ad ampia gamma.

Il circuito illustrato alla **figura 7**, consente il funzionamento su diverse portate, a partire da un millivolt, fino a 100 volt, ed è caratterizzato anche dall'impiego di due stadi di amplificazione che precedono il rettificatore. La portata alta può essere estesa ulteriormente mediante l'uso di moltiplicatori, per consentire la misura di tensioni di diverse migliaia di volt. La gamma di frequenza si estende da 10 Hz a 150 kHz. Per semplicità, sono stati raffigurati, funzionanti negli stadi amplificatori, dei triodi, ma, in realtà, nelle realizzazioni pratiche si preferisce ricorrere all'uso dei pentodi.

Immediatamente dopo l'amplificazione, la tensione di ingresso viene rettificata mediante un raddrizzatore ad ossido, e l'indice dello strumento subisce delle deviazioni ad opera della corrente rettificata che lo percorre. Una parte della tensione d'uscita viene riportata ad un terminale della resistenza R_1 collegata sul catodo di V_1 per migliorare la stabilità di funzionamento.

Durante la misura di una tensione, quest'ultima viene applicata alla griglia di V_1 attraverso un attenuatore d'ingresso, dopo di che viene amplificata dal primo stadio. Da qui, il segnale viene accoppiato al secondo stadio il quale effettua un'ulteriore amplificazione. Infine, la tensione amplificata viene inviata al circuito finale, che consiste in un rettificatore in serie allo strumento, attraverso la capacità C.

La resistenza R_2 limita la corrente che scorre nello strumento. Negli istanti in cui la tensione applicata al condensatore C è positiva, si ha un passaggio di corrente attraverso il circuito raddrizzatore. Contemporaneamente, la tensione che si sviluppa ai capi di R_1 aumenta la polarizzazione negativa di V_1 riducendo il guadagno totale dello stadio di amplificazione corrispondente, col risultato di una migliore stabilità.

Voltmetro elettronico a lettura inversa

La **figura 8** illustra il circuito di principio di un voltmetro elettronico a lettura inversa il cui uso è limitato ad applicazioni speciali. La lettura, con questo voltmetro, non avviene direttamente come nei tipi precedentemente descritti.

Il potenziometro, R_1, che determina la tensione inversa, viene anzitutto regolato sino a che si ha lettura del valore zero sullo strumento. Fatto ciò, i terminali d'ingresso vengono cortocircuitati, ed il potenziometro R_2, contrassegnato « regolazione zero », viene regolato fino ad ottenere una indicazione minima (1/10 o 1/20 della intera scala) da parte del microamperometro collegato nel circuito di placca della valvola. Dopo tale operazione si agisce nuovamente su R_1, per applicare una tensione fortemente negativa sulla griglia della valvola; ciò evita un sovraccarico quando la tensione d'ingresso è troppo alta.

Si applica infine la tensione da misurare ai terminali d'ingresso dello strumento. L'effetto di tale tensione consiste nell'annullare una parte o tutta la tensione di polarizzazione della griglia, e quindi di aumentare la corrente che scorre attraverso la valvola. Per calcolare, o comunque valutare, il valore della tensione d'ingresso, il potenziometro R_1 va regolato finchè la corrente anodica viene riportata al suo valore iniziale (pari cioè ad 1/10 o 1/20 dell'intera scala), ottenuto senza l'applicazione di tensione continua all'ingresso. A questo punto la lettura dello strumento dà il valore della tensione applicata, il quale è indicato sul voltmetro quando la tensione inversa e quella incognita sono eguali. Quando tale condizione sussiste, la misura del valore della tensione inversa corrisponde al valore della tensione incognita.

Fig. 6 — **Mediante l'aggiunta di un elemento rettificatore, (in questo caso un doppio diodo installato in una sonda), è possibile completare un circuito come quello illustrato nelle figure 5A e 5B, predisponendolo per la misura di tensioni alternate. R_B è sempre variabile mediante un commutatore, per consentire le diverse portate fondo scala.**

In alcuni tipi di voltmetri elettronici di questo genere, si usa un unico strumento per indicare il punto in cui la corrente è nulla nel momento in cui si effettua la regolazione della tensione inversa. In questo caso la tensione incognita viene valutata regolando il potenziometro corrispondente lungo una scala appositamente tarata.

Voltmetro elettronico sintonizzato

Sebbene i voltmetri a valvola funzionino normalmente con una precisione costante in corrente alternata su una ampia gamma di frequenza, in certi casi si rende necessario l'uso di uno strumento selettivo nei confronti della frequenza. Per ottenere una maggiore sensibilità è possibile collegare uno o più stadi di amplificazione *sintonizzati*, prima del circuito dello strumento. Ogni circuito sintonizzato è reso variabile in una determinata gamma di frequenze, per cui qualsiasi frequenza contenuta entro tali limiti può essere selezionata e misurata. Questo tipo di voltmetro trova un campo di utile applicazione negli apparecchi di prova basati sulla ricerca e analisi del segnale (« signal tracers »), negli analizzatori di armoniche, ed in altri strumenti analoghi.

L'USO del VOLTMETRO a VALVOLA

Il voltmetro a valvola è uno strumento molto sensibile, e, come tale, è soggetto a deterioramento se viene sottoposto a tensioni superiori alle massime consentite. Per questo motivo è opportuno effettuare i collegamenti dei terminali al circuito sotto prova, partendo sempre dalla portata più alta. Se in tal modo non si ottiene una deviazione dell'indice sufficiente per valutare con una certa precisione la tensione letta, è necessario diminuire la portata fino ad avere l'indicazione più esatta.

Nell'uso delle sonde per il controllo di tensioni molto alte, esse vanno impugnate nella parte posteriore del manico: ciò riduce il pericolo di scosse elettriche e diminuisce l'effetto capacitivo della mano sul circuito. Se è possibile, è opportuno collegare la sonda al circuito sotto prova prima che a quest'ultimo venga data la tensione da misurare. Le tensioni continue di valore alto, allorchè sono presenti in un circuito a c.a. sotto prova, caricano il condensatore di accoppiamento d'ingresso dello strumento, per cui, se il puntale della sonda e la massa vengono poi toccati contemporaneamente, ciò può causare una scossa elettrica notevole. Per evitare questo fatto, porre sempre a massa, momentaneamente, la parte attiva della sonda dopo ogni misurazione.

Altre importanti precauzioni da osservare per la misura di tensioni alte, sono le seguenti:

1) Prima di effettuare qualsiasi misura, individuare tutti i punti ad alta tensione del circuito sotto prova.
2) Lavorare sempre con una mano in tasca.
3) Assicurarsi che nessuna parte del corpo sia in contatto con la massa.
4) Tenere presente che qualsiasi punto di un apparecchio difettoso può presentare un alto potenziale, per cui è opportuno usare sempre la sonda in caso di dubbio.
5) Nella misura di correnti nei circuiti con alta tensione, interrompere il circuito sempre in prossimità del potenzale di massa.

Allorchè si usa una sonda per effettuare misure in circuiti ad Alta Frequenza, il suo punto di massa deve essere il più possibile vicino al punto di misura. I fili di collegamento, indipendentemente dal fatto che la loro lunghezza è ridotta, causano sempre una certa caduta di tensione agli effetti delle alte frequenze. Per questo motivo è molto importante collegare il terminale sensibile del voltmetro al punto esatto dove è necessario effettuare la lettura e, come si è detto, il punto di massa della sonda al punto di massa più vicino al punto di lettura.

Le portate in corrente alternata di un voltmetro elettronico sono tarate in valore efficaci di tensioni sinusoidali. Nella misura di tensioni non sinusoidali, non è perciò possibile ottenere letture esatte, a meno che lo strumento non sia tarato in valori di picco. L'uso del voltmetro elettronico non è consigliabile nei confronti delle tensioni non sinusoidali, salvo che la precisione sia un fattore di importanza secondaria in quanto risulti sufficiente il rilievo di misure di confronto.

La taratura del voltmetro a valvola necessita di frequenti controlli.

NOTE sulle APPLICAZIONI e sui TIPI SPECIALI

Per usare razionalmente un voltmetro a valvola, dopo aver acceso lo strumento è opportuno attendere alcuni minuti onde permettere ai vari componenti di raggiungere la temperatura normale di funzionamento. Una volta raggiunta detta temperatura, si provvede alla regolazio-

Fig. 7 — In questo circuito, l'elemento rettificatore è preceduto da due stadi di amplificazione. Essi consentono la misura di tensioni bassissime (da 1 mV in su), e, mediante l'attenuatore di ingresso, è del pari possibile misurare tensioni dell'ordine di 100 V.

ne dello zero agendo sull'apposita monopola presente sul pannello. Le misure possono essere effettuate soltanto se l'indice non si sposta dalla posizione zero in assenza di tensioni di ingresso. L'uso appropriato delle varie portate dello strumento varia col variare dei tipi, e viene normalmente descritto nelle istruzioni che accompagnano ogni strumento di produzione commerciale.

Abbiamo già accennato ai vantaggi del voltmetro elettronico: a causa dell'alta impedenza di ingresso, il voltmetro a valvola è utile per la misura di tensioni in circuiti ad impedenza relativamente alta. Ad esempio, si usa un voltmetro con impedenza d'ingresso di 10 Megaohm per misurare una caduta di tensione ai capi di una resistenza di fuga di griglia, di 2 Megaohm. La resistenza totale derivante dai due valori in parallelo ammonta a 1,7 Megaohm; tale valore è talmente prossimo a quello della resistenza stessa che la corrente che circola può essere considerata la stessa, con o senza l'applicazione del voltmetro al circuito. Ne consegue che le misure di tensione possono essere effettuate senza alterare le condizioni di funzionamento del circuito.

Analogamente, è possibile effettuare misure di tensione su circuiti sintonizzati nei quali l'impedenza dei vari componenti è critica, ed una minima variazione dell'impedenza del circuito (provocata, ad esempio, dall'uso di uno strumento a bassa impedenza) può apportare notevoli variazioni alle condizioni di funzionamento.

Grazie alla sua ampia gamma di frequenza, il voltmetro a valvola è particolarmente adatto alla misura del guadagno degli stadi amplificatori. Tale misura viene effettuata dividendo il valore della tensione d'uscita (misurato per varie frequenze) per il corrispondente valore delle tensioni d'ingresso. Misure di questo tipo possono essere effettuate su di un unico stadio dell'amplificatore, oppure su diversi stadi contemporaneamente. La tensione d'ingresso può essere fornita da un generatore di segnali, ossia da un apparecchio che fornisce delle oscillazioni costanti con ampiezza costante alle varie frequenze (un tale strumento sarà oggetto di apposita lezione).

I voltmetri a valvola possono essere usati vantaggiosamente per localizzare guasti nei ricevitori radio, nei trasmettitori o negli amplificatori, applicando all'ingresso un segnale prodotto da un generatore, e misurando le tensioni che si sviluppano in corrispondenza di ogni punto critico.

Per il controllo del segnale con tale metodo, viene impiegato il voltmetro elettronico amplificatore-rettificatore. Ciò, in quanto l'ampiezza del segnale può essere, in certi casi, molto piccola, per cui si rende necessaria un'amplificazione notevole prima di effettuare la misura.

I tipi sintonizzati vengono usati per la misura della distorsione, del rumore di fondo e del coefficiente di amplificazione; tali misure aiutano molto a localizzare lo stadio in cui è presente un guasto.

Altre misure possibili col voltmetro a valvola sono: il controllo della tensione CAV (controllo automatico di volume), la misura della tensione di discriminazione (nei ricevitori a modulazione di frequenze e nelle apparecchiature radar), e la misura della tensione della polarizzazione di griglia degli oscillatori. Queste voci, di cui non è stato ancora illustrato il significato, saranno oggetto di ampia esposizione allorchè l'argomento sarà raggiunto in relazione al logico sviluppo del Corso.

L'alimentazione necessaria al voltmetro a valvola non comporta problemi particolari. Logicamente, viene fatto di pensare ad un alimentatore stabilizzato ma, in pratica, alcuni accorgimenti circuitali relativi al voltmetro stesso rendono superfluo l'onere della stabilizzazione. Si tratta dell'impiego di controreazione (una parte di segnale viene riportata, nella dovuta relazione di fase, agli stadi precedenti) che stabilizza tutti gli stadi interessati, e del ricorso, in certi casi, a circuiti a ponte che contribuiscono anch'essi ad equilibrare dannose variazioni.

In relazione a quanto ora accennato, si perviene alla possibilità di adottare un semplicissimo rettificatore, anche ad una sola semionda, ed il relativo circuito di filtro, anch'esso notevolmente semplificato; tante volte il filtraggio è addirittura eliminato. Ciò che è importante è che sia adottato un trasformatore di alimentazione e non un autotrasformatore: è opportuno, infatti, che vi sia un certo isolamento rispetto alla rete luce di alimentazione.

In questi ultimi anni i diodi a cristallo hanno sostituito in moltissime applicazioni i diodi termoionici. Anche i voltmetri a valvola perciò fanno spesso ricorso ai vantaggi che un diodo così comodo com'è quello a cristallo, comporta. Tale tipo di diodo infatti, non richiede tensione e corrente per l'accensione, è di ingombro limitatissimo e presenta una capacità propria molto bassa: esso costituisce perciò un organo ideale per essere incluso nelle sonde. Un tipo di voltmetro — che, evidentemente non può più essere detto voltmetro a valvola... ma che è pur sempre un voltmetro elettronico — è formato semplicemente da una

Fig. 8 — Circuito elementare di un voltmetro elettronico a triodo, del tipo detto a « lettura inversa ». In questo tipo, per effettuare la lettura, è prima necessario azzerare lo strumento.

Fig. 9 — Schema di principio per illustrare come viene effettuata la misura del coefficiente di amplificazione di una valvola o di un amplificatore in genere. Il voltmetro a valvola consente la misura esatta del segnale di ingresso fornito dal generatore, e del segnale di uscita. L'amplificazione è data dal rapporto tra le letture.

sonda con diodo a cristallo e relative resistenze e condensatori di carico, da un condensatore di accoppiamento e da un microamperometro collegato alla sonda dal solito cavetto schermato. Non è necessaria alcuna sorgente di energia. Lo strumento, che agisce a spese della tensione da misurare, deve essere molto sensibile (5-10 microampère): nonostante tale sensibilità si verifica, nei riguardi dei circuiti oscillanti eventualmente sotto misura, un notevole smorzamento e, per le normali radiofrequenze questo tipo di voltmetro non risulta adatto. Si possono attuare più portate incorporando, presso al microampèrometro, diverse resistenze « shunt » e commutando le stesse in relazione alle portate.

Un'altra soluzione originale per realizzare una particolare apparecchiatura di misura consiste nell'abbinare ad una sonda a diodo, un voltmetro il cui funzionamento è basato sul principio del condensatore e che viene detto appunto, « statico ». Al diodo non è posta in parallelo alcuna resistenza, bensì solo il voltmetro di cui sopra: esso si carica in base al valore di picco della tensione alternata da misurare. Una volta carico non consuma alcuna corrente e continua ad indicare la tensione. Si presta assai bene all'impiego nella tecnica delle apparecchiature che usano impulsi (ad esempio certi trasmettitori) e deve essere isolato in modo molto spinto affinchè non vi siano dispersioni che smorzino il diodo e scarichino il voltmetro a condensatore.

Dobbiamo accennare, sempre sull'argomento dei tipi speciali, ai tipi di voltmetri con scala logaritmica. Nella lezione che segue, parlando di una particolare unità di misura, il « decibel », vedremo i suoi rapporti con i logaritmi: diremo anche della necessità di valutare l'andamento di certi fenomeni secondo un andamento logaritmico. Tra questi fenomeni, molto noti sono quelli che riguardano il campo acustico (la sensibilità dell'orecchio ha un andamento logaritmico) per cui in tale ramo risulta assai comodo disporre di voltmetri con scala logaritmica. Per ciò che si riferisce ai voltmetri a valvola diremo che i modelli a **scala logaritmica** sono realizzabili: occorre però, o l'aggiunta di particolari stadi di regolazione o uno sfruttamento piuttosto complesso del fenomeno della controreazione.

Già abbiamo fatto cenno ai tipi di voltmetro sintonizzati. Aggiungeremo che, a volte, il voltmetro sintonizzato include un amplificatore inserito tra l'entrata ed il circuito voltmetrico: questo amplificatore, che può essere paragonato ad un vero e proprio ricevitore radio, è studiato in modo da consentire un'amplificazione assolutamente costante e stabile sulle diverse gamme interessate. Stante ciò si possono valutare le diverse intensità di segnali in arrivo, di modo che la funzione di un tale complesso risulti essere quella di un **misuratore dell'intensità di campo.**

Concluderemo questo esame del voltmetro elettronico ponendo in evidenza il fatto che, molto spesso, si approfitta delle sue particolari prerogative per disporre, in un unico strumento, anche di un ohmetro che potremmo definire, a valvola. Risulta, infatti, abbastanza facile adattare un voltmetro a valvola per corrente continua alla funzione di **misuratore di resistenze.** L'ohmetro che ne risulta, consente facili letture a valori assai più alti di quelli comunemente raggiunti dagli ohmetri non elettronici. In conseguenza di quanto ora detto, i voltmetri a valvola più moderni includono la funzione di ohmetri e, naturalmente, su diverse portate. Il principio di funzionamento è quello classico: occorre perciò includere una batteria, un commutatore per le portate, e le resistenze tarate relative. La resistenza incognita viene posta in serie a quella nota, ed il circuito risulta chiuso con entrambe, ai capi della batteria. Il voltmetro legge la caduta di tensione che si verifica ai capi della resistenza incognita dando una lettura che è proporzionale al valore della resistenza stessa. Occorrono le abituali operazioni di azzeramento prima delle letture. Le scale sono opportunamente tarate per cui, per conoscere il valore, è sufficiente osservare l'indicazione numerica della scala e moltiplicarla per il fattore inerente la portata.

La serie di apparecchiature di misura di cui riportiamo descrizioni ai fini costruttivi include un completo e moderno voltmetro elettronico. Sulla sua costruzione sarà detto ampiamente tra un paio di lezioni, intanto precisiamo che questo strumento presenta sette portate a fondo scala (di 1,5 a 1500 volt) per letture sia in corrente continua che alternata: una resistenza d'entrata di 11 Megaohm e, come ohmetro elettronico, permette letture da 0,1 ohm a ben 1000 Megaohm, suddivise anch'esse in sette portate. Le valvole necessarie sono due sole. Prerogativa notevole è infine quella della uniformità di comportamento su di un'ampia gamma di frequenza, per cui si possono eseguire utili misure su segnali di frequenza da 40 Hertz sino a 7,2 Megahertz: come si vede, sia in Bassa che in Alta Frequenza.

SIMBOLI - ABBREVIAZIONI

A = Classe di amplificazione in cui la corrente anodica scorre durante l'intero ciclo del segnale di griglia.
AB = Classe di amplificazione in cui la corrente anodica scorre durante i semiperiodi positivi e parte dei semiperiodi negativi del segnale di griglia.
AB_1 = Classe di amplificazione in cui la corrente anodica scorre come nella classe AB, senza però che si abbia mai la presenza di una corrente di griglia.
AB_2 = Classe di amplificazione in cui la corrente anodica scorre come nella classe AB, con la differenza che si ha una certa corrente di griglia durante i picchi dei semiperiodi positivi del segnale.
B = Classe di amplificazione in cui la corrente anodica scorre soltanto durante i semiperiodi positivi del segnale di griglia.
C = Classe di amplificazione in cui la corrente anodica scorre soltanto durante i picchi dei semiperiodi positivi del segnale di griglia.
C_k = Capacità di catodo (condens. di « filtro » o di « fuga »).
C_g = Capacità di griglia (di accoppiamento).
dB = Decibel: logaritmo del rapporto tra due grandezze.
dBm = Decibel riferito al livello di potenza di 1 mW.
E_b = Tensione anodica di alimentazione.
e_b = Tensione anodica istantanea riferita al catodo.
E_{bo} = Tensione anodica in assenza di segnale.
E_{co} = Tensione ai capi del carico, in assenza di segnale.
E_c = Tensione di polarizzazione di griglia.
E_g = Tensione di griglia.
E_{go} = Tensione di griglia in assenza di segnale.
e_{RC} = Tensione istantanea ai capi del carico.
E_{RC} = Tensione presente ai capi del carico.
E_s = Tensione del segnale.
I_{bo} = Corrente anodica in assenza di segnale.
i_o = Corrente istantanea.
i_p = Corrente istantanea di placca.
R_g = Resistenza di griglia.
R_c = Resistenza del carico.
R_k = Resistenza di catodo.
r_p = Resistenza istantanea di placca.

FORMULE

dB = 10 log P1 : P2
dBm = dB riferiti ad 1 mW
$E_{co} = E_b - E_{bo}$
$E_b = I_cR_c + i_pr_p$
$R_k = E_g : I_{bo}$

DOMANDE sulle LEZIONI 52ª e 53ª

N. 1 —
Quale caratteristica deve avere la resistenza di carico di una amplificatrice di tensione?

N. 2 —
Che cosa si desidera ottenere da uno stadio di amplificazione finale (di potenza)?

N. 3 —
Quale deve essere il valore relativo dell'impedenza di carico di un triodo di potenza, nei confronti della resistenza dinamica di placca?

N. 4 —
Quale deve essere il valore relativo dell'impedenza di carico di un pentodo di potenza, nei confronti della resistenza dinamica di placca?

N. 5 —
In uno stadio amplificatore di tensione, quale è la classe di amplificazione che consente nel circuito di uscita la esatta riproduzione del segnale di ingresso amplificato?

N. 6 —
Come viene definito il « rendimento » di uno stadio di potenza?

N. 7 —
In quali condizioni si trova la tensione di polarizzazione della griglia in una valvola funzionante in classe B?

N. 8 —
Per quale motivo si può affermare che uno stadio funzionante in classe C consente un alto rendimento?

N. 9 —
Da che cosa dipende, in massima parte, la distorsione apportata al segnale di uscita da parte di una valvola amplificatrice di tensione o di potenza?

N. 10 —
A quanto ammonta il rendimento approssimativo di uno stadio di potenza funzionante rispettivamente nelle classi A, AB, B e C?

N. 11 —
Per ottenere un minimo di distorsione del segnale di ingresso, è più conveniente usare uno stadio singolo o uno stadio in controfase?

N. 12 —
Nel circuito di una valvola amplificatrice, quale relazione sussiste i valori di e_g, e_c, i_b, e_{RC} ed e_b?

N. 13 —
Quale è la fonte di energia da cui proviene la tensione di polarizzazione di griglia, nel sistema detto « per dispersione di griglia »?

N. 14 —
Quali sono i principali vantaggi di un voltmetro a valvola nei confronti di un « tester », ossia di un voltmetro costituito da uno strumento e da una resistenza addizionale, con rettificatore per la corrente alternata?

N. 15 —
Cosa è un « probe », detto « sonda » in italiano?

RISPOSTE alle DOMANDE di Pag. 401

N. 1 — Accelerare il movimento degli elettroni verso la placca, e ridurre la capacità presente tra placca e griglia.

N. 2 — Sopprimere gli elettroni che rimbalzano dalla placca, e ridurre ulteriormente la capacità interelettrodica: è detta « griglia di soppressione ».

N. 3 — Alla somma della corrente anodica e della corrente di griglia schermo. Entrambe — infatti — provengono dal catodo, ed influiscono sul valore della resistenza catodica.

N. 4 — In quanto la « pendenza » ossia l'inclinazione della curva caratteristica è notevolmente maggiore.

N. 5 — Perchè la differenza di potenziale tra placca e catodo in assenza di carico (curva statica) è costante, indipendentemente dal valore della corrente di placca. Viceversa, se si ha un carico nel circuito di placca (curva dinamica), la differenza di potenziale presente ai suoi capi, e di conseguenza il potenziale presente tra placca e catodo, varia col variare della corrente.

N. 6 — Per evitare variazioni nella tensione di schermo, e per convogliare a massa qualsiasi oscillazione (segnale) presente sulla stessa griglia schermo.

N. 7 — Essa è riferita alla parte della curva caratteristica nella quale la corrente anodica diminuisce con l'aumentare della tensione anodica.

N. 8 — La griglia di soppressione — tranne casi del tutto particolari — è normalmente collegata al catodo, o esternamente, o internamente alla valvola. Di conseguenza, il suo potenziale rispetto al catodo stesso è zero.

N. 9 — L'emissione secondaria è costituita dagli elettroni che si allontanano dalla placca, dalla quale si liberano per effetto del bombardamento di elettroni provenienti dal catodo. Ad essa si pone rimedio con l'aggiunta della griglia detta appunto « di soppressione ».

N. 10 — La resistenza di placca ed il fattore di amplificazione sono elevati, mentre la conduttanza mutua è pressochè eguale a quella di un triodo.

N. 11 — Quello di poter funzionare con notevoli intensità di corrente. Per questo motivo essi vengono impiegati, come vedremo, negli stadi finali di amplificatori e nei trasmettitori.

N. 12 — Essa si distingue da una valvola a coefficiente fisso per il fatto che le spire della griglia sono spaziate in modo non uniforme.

N. 13 — Perchè il filamento ha caratteristiche tali da variare notevolmente la sua resistenza col variare della temperatura, ossia della corrente che lo percorre.

N. 14 — Aumenta contemporaneamente la corrente tra i due elettrodi.

N. 15 — Collegando in serie due di tali valvole, ed applicando la tensione di 300 volt alle estremità. Ovviamente, il collegamento deve essere tale che l'anodo di una corrisponda al catodo dell'altra.

N. 16 — La ionizzazione del gas rarefatto.

N. 17 — Variando la tensione di griglia della valvola regolatrice in serie all'uscita. In tal modo si varia la sua resistenza interna, e quindi la caduta di tensione presente tra placca e catodo.

N. 18 — —Mediante il primo si eleva una tensione continua direttamente, mentre mediante il secondo la tensione di uscita deve essere in seguito rettificata.

IL DECIBEL

Ci siamo occupati — a volte sommariamente, ed a volte dettagliatamente — di quasi tutte le unità di misura dell'elettricità, di molte della fisica, della meccanica, ecc. In altre parole, abbiamo conosciuto pressochè tutte le grandezze in gioco nelle scienze esatte.

Una interessante particolarità delle unità di cui ci siamo occupati, è che **ciascuna di esse esprime una grandezza ben definita.** In funzione di tali unità è possibile esprimerne altre.

Possiamo affermare che le unità « metro », « centimetro », « litro », « chilometro », « chilogrammo », sono grandezze ben definite, inconfondibili ed inconfutabili. Anche le unità elettriche sono tali. Sappiamo infatti come può essere definito esattamente il « volt », « l'ampère », « l'ohm » ecc.

La caratteristica delle unità di cui sopra manca invece al « decibel », del quale stiamo per occuparci. Questa unità di misura — infatti — non esprime una grandezza definita, bensì **un rapporto tra due grandezze** definite.

Per chiarire questo concetto di rapporto possiamo servirci di un esempio: se diciamo che la distanza tra Milano e Torino è di 145 chilometri, usiamo una grandezza ben definita (il metro e, per comodità, il chilometro); se però diciamo che la distanza tra Modena e Parma è 2 volte la distanza tra Modena e Reggio Emilia, usiamo un rapporto. Ciò non toglie che, conoscendo la distanza tra Modena e Reggio, si possa valutare egualmente la distanza tra Modena e Parma.

Nel nostro campo, riferendoci, ad esempio, all'amplificazione fornita da una valvola in un'apparecchiatura elettronica, possiamo dire che la potenza fornita da un determinato stadio in uscita (circuito di placca) equivale a 10 volte la potenza applicata in entrata (circuito di griglia). In questo caso, il rapporto tra le due potenze in gioco è esattamente 10:1, ossia 10.

Il valore così ricavato viene espresso in **bel**, e corrisponde, in questo caso, ad 1 « bel ». In realtà, l'unità « bel » non viene adottata per semplice comodità di calcolo, mentre è di uso più pratico il *decimo di « bel »*, ossia il **decibel**. In altre parole, 1 bel = 10 decibel (abbreviato 10 dB).

Nell'uso di questo sistema per esprimere delle grandezze, si rivela tutta la praticità ed utilità dei logaritmi, in quanto su di essi si basano tutti i calcoli di amplificazione (decibel positivi) e di attenuazione (decibel negativi).

Il decibel è correntemente impiegato nei riferimenti di alcune caratteristiche dei circuiti elettronici, specialmente per ciò che si riferisce a dati di funzionamento di amplificatori, di antenne, di strumenti di misura, ecc.

L'orecchio umano non ha un responso lineare ai cambiamenti dei livelli di potenza e di energia. Supponiamo di avere, ad esempio, un amplificatore che fornisca una nota pura, con una potenza acustica effettiva pari ad 1 watt. L'esperienza ha dimostrato che, affinchè l'orecchio di un ascoltatore avverta una potenza acustica doppia, la potenza effettiva dell'amplificatore deve aumentare di ben 10 volte, per cui tale potenza deve essere portata a 10 watt.

Analogamente, affinchè l'orecchio avverta un aumento di 3 volte, la potenza deve essere centuplicata, ossia la potenza, da 1 watt deve essere portata a 100 watt. Per dare la sensazione di una potenza quadrupla, la potenza d'uscita effettiva deve essere aumentata di 1.000 volte, e deve quindi essere portata a 1.000 watt, e così via.

Anche per dare all'orecchio dell'ascoltatore la sensazione di una potenza pari alla metà di quella fornita dall'amplificatore da 1 watt, è necessario che la potenza stessa diventi la decima parte, ossia 0,1 watt, e così via.

In tutti i casi considerati, la variazione di potenza può essere comodamente espressa in decibel.

Il decibel equivale a 10 volte il logaritmo in base 10 del rapporto tra due potenze, P1 e P2. Se detto rapporto è maggiore di 1 (ossia se P1>P2), si tratta di decibel positivi (amplificazione); se invece il rapporto è minore di 1 (ossia P1<P2), si tratta di decibel negativi (attenuazione).

Ciò è espresso matematicamente dalla seguente eguaglianza:

$$1) \quad dB = 10 \log \frac{P1}{P2}$$

nella quale P1 e P2 rappresentano le due potenze in gioco, espresse in watt.

La funzione logaritmica è dovuta semplicemente al fatto che — come si è detto poc'anzi — la sensibilità dell'orecchio umano alle variazioni di potenza risulta appunto logaritmica.

Risaliamo ora agli esempi precedentemente citati; possiamo stabilire i valori in decibel che esprimono i relativi rapporti, chiamando P1 la potenza necessaria per dare la sensazione diversa e P2 quella disponibile.

Con un aumento di potenza di 10 volte abbiamo:

$$dB = 10 \log (P1:P2) = 10 \log (10:1) = 10 \log 10;$$

poichè il logaritmo di 10 è 1, l'espressione considerata diventa:

$$dB = 10 \log 10 = 10 \times 1 = 10;$$

si ha quindi un aumento di potenza pari a 10 dB.

Con un aumento di potenza di 100 volte, abbiamo:

$$dB = 10 \log (100:1) = 10 \log 100;$$

poichè il logaritmo di 100 è 2, l'espressione considerata diventa:

$$dB = 10 \log 100 = 10 \times 2 = 20;$$

si ha quindi un aumento di potenza pari a 20 dB.

Con un aumento di potenza di 1.000 volte, abbiamo:

$$dB = 10 \log 1.000 = 10 \times 3 = 30;$$

si ha quindi un aumento di potenza pari a 30 dB.

Nel caso della diminuzione della potenza ad un decimo di quella effettiva, abbiamo P2>P1, ed il rapporto tra le due potenze è 0,1. In tal caso:

$$dB = 10 \log 0{,}1;$$

poichè il logaritmo di 0,1 è —1, abbiamo che:

$$dB = 10\ (-1) = -10$$

si ha quindi un aumento di potenza pari a —10 dB.

Occorre rilevare che un aumento di una quantità negativa corrisponde — in realtà — ad una diminuzione. In altre parole in questo caso si ha un'attenuazione di 10 dB.

RELAZIONI tra POTENZA, TENSIONE e CORRENTE

Nella lezione vertente sulle unità di misura elettriche (pag. 75), abbiamo visto come la potenza possa essere espressa in funzione della tensione e della corrente.

Anche i rapporti tra queste grandezze possono essere espressi in decibel; a tale scopo vale la seguente regola: **Il decibel equivale a 20 volte il logaritmo in base 10 del rapporto tra due tensioni o tra due correnti.**

Ciò è espresso matematicamente dalle seguenti eguaglianze:

$$2) \quad dB = 20 \log_{10} \frac{E1}{E2}$$

nella quale E1 ed E2 rappresentano le due tensioni in gioco espresse in volt.

$$3) \quad dB = 20 \log_{10} \frac{I1}{I2}$$

nella quale I1 ed I2 rappresentano le correnti in gioco espresse in ampère.

Si ricordi a tale proposito che il segno « 1 » viene sempre affiancato alla grandezza di uscita ed il segno « 2 » alla grandezza di entrata.

In realtà, queste due eguaglianze risultano vere soltanto **se le due tensioni o le due correnti in gioco sono riferite a due resistenze rispettivamente di eguale valore.** In altre parole, sappiamo che in uno stadio di amplificazione abbiamo una resistenza di ingresso (tra griglia e catodo), ed una resistenza di uscita (resistenza di carico collegata in serie alla placca). Ora, affinchè l'eguaglianza sussista nella forma enunciata, è necessario che la resistenza di ingresso e quella di uscita, ai capi delle quali si trovano le due tensioni considerate, siano di egual valore. Altrettanto dicasi se, in luogo delle tensioni presenti ai loro capi, si considerano le correnti che le percorrono.

Vediamo, con qualche esempio pratico, come è possibile calcolare il guadagno o l'attenuazione in dB in un circuito elettronico.

Supponiamo che la resistenza d'ingresso di uno stadio di amplificazione sia eguale a quella di uscita. Se il segnale di ingresso è di 0,001 volt (pari ad 1 millivolt), e la tensione del segnale presente in uscita è pari a 1 volt. abbiamo che:

$$dB = 20 \log (1:0{,}001) = 20 \log 1.000;$$

poichè il logaritmo di 1.000 è 3, abbiamo che:

$$dB = 20 \times 3 = 60.$$

Si ha dunque un guadagno di 60 dB.

Consideriamo ora il caso di un attenuatore a « π », del tipo illustrato in figura 6A bis, pag. 150. *R1* è eguale ad *R3*, per cui la legge sussiste. Se all'entrata è disponibile una tensione di 1 volt, ed all'uscita la tensione è ridotta a 0,1 volt, abbiamo che:

$$dB = 20 \log (0{,}1:1) = 20 \log 0{,}1;$$

poichè il logaritmo di 0,1 è —1, abbiamo che:

$$dB = 20\ (-1) = -20.$$

Si ha dunque un « guadagno » di —20 dB, ossia un'attenuazione di 20 dB.

Il procedimento di calcolo nei confronti del rapporto tra due correnti è del tutto analogo.

CALCOLO dei DECIBEL MEDIANTE le TABELLE

La tabella riportata a pag. 429 consente di effettuare qualsiasi calcolo in decibel, sia che si tratti di rapporti di potenza che di rapporti di tensione o di corrente.

Essa consta di tre gruppi di cinque colonne ciascuno. Ogni gruppo ha una colonna centrale nella quale sono elencati i valori in decibel corrispondenti ai vari rapporti: il gruppo di sinistra va da 0 a 6,9 dB, quello centrale da 7 a 13,9 dB e quello di destra da 14 a 100 dB. L'estensione totale della tabella è dunque compresa tra 0 e 100 dB.

Ai lati di ciascuna delle tre colonne dei decibel (a destra ed a sinistra), sono presenti due colonne contrassegnate P1 : P2 ed E1 : E2. La prima elenca i rapporti di potenza, e l'altra i rapporti di tensione. Quest'ultima può essere usata indifferentemente anche per i rapporti di corrente (I1 : I2), in quanto la formula relativa è del tutto analoga.

Indipendentemente dalla possibilità di calcolare un valore in dB mediante le tavole logaritmiche, questa tabella consente il calcolo rapido ed abbastanza esatto.

Eccone l'impiego: noti che siano i valori di potenza in entrata ed in uscita in uno stadio di amplificazione o di un attenuatore, oppure i valori delle tensioni o delle correnti in gioco, è sufficiente calcolare con una semplice divisione il rapporto tra le due grandezze (P1 : P2, oppure E1 : E2, o ancora I1 : I2). Se il rapporto è maggiore di 1, deve essere individuato in una delle colonne riportate *a destra* della colonna dei decibel, i quali avranno un valore positivo (preceduto dal segno +). Se invece il valore del rapporto è inferiore a 1, esso dovrà essere individuato nelle colonne *a sinistra*, ed il valore in decibel corrispondente sarà negativo (preceduto dal segno —).

Supponiamo, ad esempio, che uno stadio di amplificazione abbia una potenza di ingresso di 0,002 watt, ed una potenza di uscita di 0,060 watt. Il rapporto tra queste due grandezze è 0,06 : 0,002 = 30. Trattandosi di un rapporto di potenza (P1 : P2) maggiore di 1, il valore 30 dovrà essere individuato in una delle colonne presenti a destra delle colonne dei decibel. Il valore ad esso più approssimato è 30,2, e si trova nell'ultima colonna della tabella, a destra del lettore, verso l'alto. Ad esso, nella colonna dei decibel relativa, corrisponde un valore di +14,8 dB.

Se — invece che di un amplificatore — si fosse trattato di un attenuatore, avremmo avuto P1<P2, ossia il rapporto sarebbe stato 0,002 : 0,06 = 0,033. Tale rapporto, minore di 1, deve essere individuato in una delle colonne presenti a sinistra delle colonne dei decibel. Quello ad esso più approssimato (sempre dei rapporti P1 : P2) è 0,03311, che si trova nella undicesima colonna a partire da sinistra, verso l'alto. Ad esso, nella colonna dei decibel, corrisponde il valore di —14,8 dB.

Trattandosi del rapporto tra tensioni o correnti, l'uso della tabella è del tutto identico, con la sola differenza che il valore deve essere individuato in una delle colonne contrassegnate E1 : E2. Ovviamente, anche in questo caso occorre rispettare la posizione, a seconda che il rapporto stesso sia maggiore o minore di 1.

La tabella è reversibile. Noto infatti il valore in decibel (sia di attenuazione che di amplificazione), è altrettanto facile individuare il rapporto di potenza o di tensione che ad esso corrisponde, invertendo il procedimento.

Allorchè si deve calcolare il rapporto corrispondente ad un valore in dB che non figura nell'elenco, viene sfruttata la caratteristica dei logaritmi secondo la quale *il prodotto di due numeri corrisponde alla somma dei rispettivi logaritmi, ed il quoziente di due numeri alla differenza tra i logaritmi stessi.*

Supponiamo — ad esempio — di dover calcolare il rapporto di potenza corrispondente a +22,5 dB, che non figura nella tabella. Tale valore equivale a +20 dB + 2,5 dB. I rapporti corrispondenti sono 100 e 1,778. Il rapporto risultante sarà pertanto 100 × 1,778 = 177,8.

IL « dBm »

Abbiamo appreso il significato del decibel, e chiarito il concetto che esso non è una vera e propria unità, bensì un rapporto tra due grandezze. Noto il valore di queste ultime, anche il decibel diventa una quantità definita.

Esiste un'altra unità, chiamata « **dBm** » che rappresenta una quantità di valore definito. Il suo impiego è assoluttamente eguale a quello dei decibel. Il « dBm » è, infatti, **un valore in decibel, riferito alla potenza di un milliwatt:** « *zero decibel equivale ad 1 mW* ».

In tal caso, è chiaro che 0,01 watt (pari a 10 mW) equivale a 10 dBm; 0,1 watt (100 mW) equivale a 20 dBm; 1 W (pari a 1.000 mW) equivale a 30 dBm, e così via. Per contro, 1 μW (pari ad un millesimo di mW), equivale a —30 dBm, ecc.

Come si nota, dal momento che esiste un riferimento ad una quantità definita, qualsiasi valore espresso in dBm può essere convertito direttamente in watt, e, noto il valore della resistenza, o comunque del carico nel quale tale potenza viene dissipata, è facile ricavare i valori corrispondenti in volt ed in ampère.

Per convenzione, si è stabilito che « **0 dBm = 1 mW su 600 ohm** ». Ciò significa che misurando una potenza d'uscita ai capi di un carico di 600 ohm, il valore della potenza misurata è di 1 mW se l'indice si ferma sul valore 0 dB.

Dal momento che $P = E^2 : R$, sostituendo i valori noti in questa eguaglianza avremo che:

$$0{,}001 = E^2 : 600 \quad (0{,}001 \text{ W} = 1 \text{ mW})$$

$$\text{da cui} \quad E^2 = 0{,}001 \times 600 = 0{,}6$$

$$\text{da cui} \quad E = 0{,}775 \text{ volt.}$$

Trattandosi di un voltmetro per corrente alternata, come ad esempio il « tester » descritto nella 42ª lezione, questa lettura è possibile sulla portata di 5 volt f. s. La scala in decibel potrà essere usata anche nelle portate successive (10, 25, 50 e 100 volt f. s.): occorrerà però aggiungere alla lettura in decibel i seguenti valori, a seconda della portata:

10 volt f.s.	aggiungere	+ 6 dB
25 volt f.s.	aggiungere	+13 dB
50 volt f.s.	aggiungere	+19,5 dB
100 volt f.s.	aggiungere	+25,5 dB

Esempi di calcolo. Ci riferiamo allo standard adottato secondo il quale 0 dBm = 1 mW su 600 ohm. Fermo restando il valore ohmico del carico (sia resistivo che induttivo), per calcolare — ad esempio — la tensione corrispondente a +20 dB, si procede come segue: Il rap-

TABELLA 64 — LIVELLI in DECIBEL in FUNZIONE del RAPPORTO di TENSIONE (o CORRENTE) e di POTENZA

← − P1:P2	E1:E2	dB	+ → E1:E2	P1:P2
1,0000	1,0000	0	1,000	1,000
0,9772	0,9886	0,1	1,012	1,023
0,9550	0,9772	0,2	1,023	1,047
0,9333	0,9661	0,3	1,035	1,072
0,9120	0,9550	0,4	1,047	1,096
0,8913	0,9441	0,5	1,059	1,122
0,8710	0,9333	0,6	1,072	1,148
0,8511	0,9226	0,7	1,084	1,175
0,8318	0,9120	0,8	1,096	1,202
0,8128	0,9016	0,9	1,109	1,230
0,7943	0,8913	1	1,122	1,259
0,7762	0,8810	1,1	1,135	1,288
0,7586	0,8710	1,2	1,148	1,318
0,7413	0,8610	1,3	1,161	1,349
0,7244	0,8511	1,4	1,175	1,380
0,7079	0,8414	1,5	1,189	1,413
0,6918	0,8318	1,6	1,202	1,445
0,6761	0,8222	1,7	1,216	1,479
0,6607	0,8128	1,8	1,230	1,514
0,6457	0,8035	1,9	1,245	1,549
0,6310	0,7943	2	1,259	1,585
0,6166	0,7852	2,1	1,274	1,622
0,6026	0,7762	2,2	1,288	1,660
0,5888	0,7674	2,3	1,303	1,698
0,5754	0,7586	2,4	1,318	1,738
0,5623	0,7499	2,5	1,334	1,778
0,5495	0,7413	2,6	1,349	1,820
0,5370	0,7328	2,7	1,365	1,862
0,5248	0,7244	2,8	1,380	1,905
0,5129	0,7161	2,9	1,396	1,950
0,5012	0,7079	3,0	1,413	1,995
0,4898	0,6998	3,1	1,429	2,042
0,4786	0,6918	3,2	1,445	2,089
0,4677	0,6839	3,3	1,462	2,138
0,4571	0,6761	3,4	1,479	2,188
0,4467	0,6683	3,5	1,496	2,239
0,4365	0,6607	3,6	1,514	2,291
0,4266	0,6531	3,7	1,531	2,344
0,4169	0,6457	3,8	1,549	2,399
0,4074	0,6383	3,9	1,567	2,455
0,3981	0,6310	4,0	1,585	2,512
0,3890	0,6237	4,1	1,603	2,570
0,3802	0,6166	4,2	1,622	2,630
0,3715	0,6095	4,3	1,641	2,692
0,3631	0,6026	4,4	1,660	2,754
0,3548	0,5957	4,5	1,679	2,818
0,3467	0,5888	4,6	1,698	2,884
0,3388	0,5821	4,7	1,718	2,951
0,3311	0,5754	4,8	1,738	3,020
0,3236	0,5689	4,9	1,758	3,090
0,3162	0,5623	5,0	1,778	3,162
0,3090	0,5559	5,1	1,799	3,236
0,3020	0,5495	5,2	1,820	3,311
0,2951	0,5433	5,3	1,841	3,388
0,2884	0,5370	5,4	1,862	3,467
0,2818	0,5309	5,5	1,884	3,548
0,2754	0,5248	5,6	1,905	3,631
0,2692	0,5188	5,7	1,928	3,715
0,2630	0,5129	5,8	1,950	3,802
0,2570	0,5070	5,9	1,972	3,890
0,2512	0,5012	6,0	1,995	3,981
0,2455	0,4955	6,1	2,018	4,074
0,2399	0,4898	6,2	2,042	4,169
0,2344	0,4842	6,3	2,065	4,266
0,2291	0,4786	6,4	2,089	4,365
0,2239	0,4732	6,5	2,113	4,467
0,2188	0,4677	6,6	2,138	4,571
0,2138	0,4624	6,7	2,163	4,677
0,2089	0,4571	6,8	2,188	4,786
0,2012	0,4519	6,9	2,213	4,898

← − P1:P2	E1:E2	dB	+ → E1:E2	P1:P2
0,1995	0,4467	7,0	2,239	5,012
0,1950	0,4416	7,1	2,265	5,129
0,1905	0,4365	7,2	2,291	5,248
0,1862	0,4315	7,3	2,317	5,370
0,1820	0,4266	7,4	2,344	5,495
0,1778	0,4217	7,5	2,371	5,623
0,1738	0,4169	7,6	2,399	5,754
0,1698	0,4121	7,7	2,427	5,888
0,1660	0,4074	7,8	2,455	6,026
0,1622	0,4027	7,9	2,483	6,166
0,1585	0,3981	8	2,512	6,310
0,1549	0,3936	8,1	2,541	6,457
0,1514	0,3890	8,2	2,570	6,607
0,1479	0,3846	8,3	2,600	6,761
0,1445	0,3802	8,4	2,630	6,918
0,1413	0,3758	8,5	2,661	7,079
0,1380	0,3715	8,6	2,692	7,244
0,1349	0,3673	8,7	2,723	7,413
0,1318	0,3631	8,8	2,754	7,586
0,1288	0,3589	8,9	2,786	7,762
0,1259	0,3548	9	2,818	7,943
0,1230	0,3508	9,1	2,851	8,128
0,1202	0,3467	9,2	2,884	8,318
0,1175	0,3428	9,3	2,917	8,511
0,1148	0,3388	9,4	2,951	8,710
0,1122	0,3350	9,5	2,985	8,913
0,1096	0,3311	9,6	3,020	9,120
0,1072	0,3273	9,7	3,055	9,333
0,1047	0,3236	9,8	3,090	9,550
0,1023	0,3199	9,9	3,126	9,772
0,1000	0,3162	10,0	3,162	10,000
0,09772	0,3126	10,1	3,199	10,23
0,09550	0,3090	10,2	3,236	10,47
0,09333	0,3055	10,3	3,273	10,72
0,09120	0,3020	10,4	3,311	10,96
0,08913	0,2985	10,5	3,350	11,22
0,08710	0,2951	10,6	3,388	11,48
0,08511	0,2917	10,7	3,428	11,75
0,08318	0,2884	10,8	3,467	12,02
0,08128	0,2851	10,9	3,508	12,30
0,07943	0,2818	11,0	3,548	12,59
0,07762	0,2786	11,1	3,589	12,88
0,07586	0,2754	11,2	3,631	13,18
0,07413	0,2723	11,3	3,673	13,49
0,07244	0,2692	11,4	3,715	13,80
0,07079	0,2661	11,5	3,758	14,13
0,06918	0,2630	11,6	3,802	14,45
0,06761	0,2600	11,7	3,846	14,79
0,06607	0,2570	11,8	3,890	15,14
0,06457	0,2541	11,9	3,936	15,49
0,06310	0,2512	12,0	3,981	15,85
0,06166	0,2483	12,1	4,027	16,22
0,06026	0,2455	12,2	4,074	16,60
0,05888	0,2427	12,3	4,121	16,98
0,05754	0,2399	12,4	4,169	17,38
0,05623	0,2371	12,5	4,217	17,78
0,05495	0,2344	12,6	4,266	18,20
0,05370	0,2317	12,7	4,315	18,62
0,05248	0,2291	12,8	4,365	19,05
0,05129	0,2265	12,9	4,416	19,50
0,05012	0,2239	13,0	4,467	19,95
0,04898	0,2213	13,1	4,519	20,42
0,04786	0,2188	13,2	4,571	20,89
0,04677	0,2163	13,3	4,624	21,38
0,04571	0,2138	13,4	4,677	21,88
0,04467	0,2113	13,5	4,732	22,39
0,04365	0,2089	13,6	4,786	22,91
0,04266	0,2065	13,7	4,842	23,44
0,04169	0,2042	13,8	4,898	23,99
0,04074	0,2018	13,9	4,955	24,55

← − P1:P2	E1:E2	dB	+ → E1:E2	P1:P2
0,03981	0,1995	14	5,012	25,12
0,03890	0,1972	14,1	5,070	25,70
0,03802	0,1950	14,2	5,129	26,30
0,03715	0,1928	14,3	5,188	26,92
0,03631	0,1905	14,4	5,248	27,54
0,03548	0,1884	14,5	5,309	28,18
0,03467	0,1862	14,6	5,370	28,84
0,03388	0,1841	14,7	5,433	29,51
0,03311	0,1820	14,8	5,495	30,20
0,03236	0,1799	14,9	5,559	30,90
0,03162	0,1778	15	5,623	31,62
0,03090	0,1758	15,1	5,689	32,36
0,03020	0,1738	15,2	5,754	33,11
0,02951	0,1718	15,3	5,821	33,88
0,02884	0,1698	15,4	5,888	34,67
0,02818	0,1679	15,5	5,957	35,48
0,02754	0,1660	15,6	6,026	36,31
0,02692	0,1641	15,7	6,095	37,15
0,02630	0,1622	15,8	6,166	38,02
0,02570	0,1603	15,9	6,237	38,90
0,02512	0,1585	16	6,310	39,81
0,02455	0,1567	16,1	6,383	40,74
0,02399	0,1549	16,2	6,457	41,69
0,02344	0,1531	16,3	6,531	42,66
0,02291	0,1514	16,4	6,607	43,65
0,02139	0,1496	16,5	6,683	44,67
0,02188	0,1479	16,6	6,761	45,71
0,02138	0,1462	16,7	6,839	46,77
0,02089	0,1445	16,8	6,918	47,86
0,02042	0,1429	16,9	6,998	48,98
0,01995	0,1413	17,0	7,079	50,12
0,01950	0,1396	17,1	7,161	51,29
0,01905	0,1380	17,2	7,244	52,48
0,01862	0,1365	17,3	7,328	53,70
0,01820	0,1349	17,4	7,413	54,95
0,01778	0,1334	17,5	7,499	56,23
0,01738	0,1318	17,6	7,586	57,54
0,01698	0,1303	17,7	7,674	58,88
0,01660	0,1288	17,8	7,762	60,26
0,01622	0,1274	17,9	7,852	61,66
0,01585	0,1259	18,0	7,943	63,10
0,01549	0,1245	18,1	8,035	64,57
0,01514	0,1230	18,2	8,128	66,07
0,01479	0,1216	18,3	8,222	67,61
0,01445	0,1202	18,4	8,318	69,18
0,01413	0,1189	18,5	8,414	70,79
0,01380	0,1175	18,6	8,511	72,44
0,01349	0,1161	18,7	8,610	74,13
0,01318	0,1148	18,8	8,710	75,86
0,01288	0,1135	18,9	8,811	77,62
0,01259	0,1122	19,0	8,913	79,43
0,01230	0,1109	19,1	9,016	81,28
0,01202	0,1096	19,2	9,120	83,18
0,01175	0,1084	19,3	9,226	85,11
0,01148	0,1072	19,4	9,333	87,10
0,01122	0,1059	19,5	9,441	89,13
0,01096	0,1047	19,6	9,550	91,20
0,01072	0,1035	19,7	9,661	93,33
0,01047	0,1023	19,8	9,772	95,50
0,01023	0,1012	19,9	9,886	97,72
0,01000	0,1000	20,0	10,000	100,00
10^{-3}		30		10^{3}
10^{-4}	10^{-2}	40	10^{2}	10^{4}
10^{-5}		50		10^{5}
10^{-6}	10^{-3}	60	10^{3}	10^{6}
10^{-7}		70		10^{7}
10^{-8}	10^{-4}	80	10^{4}	10^{8}
10^{-9}		90		10^{9}
10^{-10}	10^{-5}	100	10^{5}	10^{10}

porto di potenza di +20 dB (dalla tabella) è 100, per cui la potenza effettiva è data da:

$$0{,}001 \text{ W (pari ad 1 mW)} \times 100 = 0{,}1 \text{ W}.$$

Sappiamo che la potenza è data da $P = E^2 : R$, da cui $E^2 = P \times R$, di conseguenza, poichè R = 600 ohm, avremo che:

$$E^2 = 0{,}1 \times 600 = 60.$$

Infine, poichè il quadrato della tensione (E^2) è 60, E sarà eguale a $\sqrt{60} = 7{,}746$ volt.

Viceversa, sapendo — ad esempio — che su un carico di 600 ohm si dispone di una tensione di 10 volt, si può conoscere l'ammontare dei decibel come segue:

$$E = 10 \quad \text{per cui} \quad E^2 = 100$$

$$\text{se } P = E^2 : R \quad \text{abbiamo che} \quad P = 100 : 600 = 0{,}166.$$

La potenza effettiva è inoltre data dalla potenza standard (1 mW) moltiplicata per il rapporto di potenza, che è tuttora incognito.

In tal caso, P = 0,166 per cui il rapporto di potenza è dato da:

$$P1 : P2 = 0{,}166 : 0{,}001 = 166 \text{ (pari a } 100 + 66).$$

Ad un rapporto di potenza pari a 100 corrisponde un valore di +20 dB e ad un rapporto di 66 corrisponde un valore di 18,2 dB. Si ha pertanto 20 + 18,2 = 38,2 dB.

L'espressione *0 dB = 1 mW su 600 ohm* è normalmente riportata sulle scale degli strumenti di cui sono dotati i « tester » di produzione commerciale. Alcuni strumenti di vecchio tipo sono basati invece su un altro standard, attualmente in disuso, secondo il quale 0 dB = 6 mW su 500 ohm.

La lettura può comunque essere effettuata, oltre che sul carico stabilito di 600 ohm, anche su altri carichi di valore diverso, mediante un semplice calcolo.

Supponiamo di misurare, col tester capacimetro descritto nella lezione 42ª, una tensione di 0,4 volt su un carico di 25 ohm (e non di 600). Sappiamo che la potenza in watt è data da $P = V^2 : R$ (R ammonta a 25 ohm). Di conseguenza avremo che:

$$P = (0{,}4)^2 : 25 = 0{,}16 : 25 = 0{,}0064 \text{ watt}.$$

Una volta nota la potenza corrispondente alla tensione misurata, e riferita al valore del carico ai capi del quale essa si sviluppa, possiamo calcolare a quale tensione essa corrisponderebbe su un carico di 600 ohm. Sempre con la medesima formula, abbiamo che:

$$0{,}0064 = V^2 : 600 \quad \text{da cui} \quad V^2 = 600 \times 0{,}0064 = 3{,}84$$

$$\text{di conseguenza } V = \sqrt{3{,}84} = 1{,}95$$

Consultando semplicemente la scala del nostro tester, constatiamo che la tensione di 1,95 volt (nella portata 5 volt f.s.) corrisponde a circa 8 dB; riferiti, questi ultimi, a 600 ohm.

TABELLA 65

CONVERSIONE delle UNITA' di SUPERFICIE INGLESI e dei LORO MULTIPLI e SOTTOMULTIPLI

UNITÀ	Poll.²	Piede²	Yarda²	cm²	m²
1 Pollice²	1	—	—	6,452	—
1 Piede²	144	1	0,111	929,2	0,0929
1 Yarda²	1296	9	1	8.363	0,8363
1 cm²	0,155	0,0011	—	1	0,0001
1 m²	1.550	10,76	1,196	10.000	1

TABELLA 66

CONVERSIONE delle UNITA' di MISURA LINEARI INGLESI e dei LORO MULTIPLI e SOTTOMULTIPLI

Unità	Inch	Foot	Yard	cm	metri	km
1 Inch *(pollice)*	1	0,083	0,028	2,54	0,025	—
1 Foot *(piede)*	12	1	0,333	30,48	0,305	—
1 Yard *(yarda)*	36	3	1	91,44	0,914	—
1 centimetro	0,39	0,03	0,01	1	0,01	0.000.01
1 metro	39,37	3,281	1,094	100	1	0,001
1 km	—	3.281	1.094	100.000	1.000	1

Le due tabelle qui riportate, che fanno seguito alla serie di quelle precedentemente pubblicate, integrano e completano le tabelle 6, 7 e 9, riportate rispettivamente a pag. 21 e 22.

Coloro che hanno occasione di consultare testi e riviste inglesi ed americane, si trovano spesso a dover calcolare la corrispondenza di misure lineari o di superficie. Ad esempio, allorchè si sviluppa l'argomento della portata di un trasmettitore, o la superficie in cui è possibile la ricezione, o ancora nel calcolo della lunghezza di una bobina, ecc.

Sono ormai noti al lettore i valori in millimetri, metri, sia quadrati che lineari, corrispondenti ai pollici, piedi, ecc. Tuttavia, le tabelle 65 e 66 riportate a lato, consentono la conversione più rapida, in quanto essa può essere effettuata con un solo passaggio.

Supponiamo, ad esempio, di dover convertire la misura di 25 piedi quadrati in metri quadrati. Dalla tabella 65 rileviamo che un piede quadrato corrisponde a 0,0929 metri quadrati. Tale è il fattore di moltiplicazione che ci consente di ottenere rapidamente il valore corrispondente: infatti,

$$0{,}0929 \times 25 = 2{,}3225 \text{ m}^2$$

Analogamente, supponiamo di dover convertire la misura di 15 yard in metri. Dalla tabella 66 apprendiamo che 1 yard corrisponde a 0,914 metri. Di conseguenza avremo che

$$0{,}9914 \times 15 = 13{,}71 \text{ metri}.$$

Entrambe le tabelle sono ovviamente reversibili, per cui consentono con la medesima semplicità la conversione di unità decimali in unità inglesi, come pure delle sole unità inglesi o decimali nei relativi multipli e sottomultipli.

è uscito il N. 97

Chiedetelo alla vostra edicola; se ne è sprovvista, comunicate al giornalaio che il servizio distribuzione per tutta Italia alle edicole, è ora affidato alla Spett. Diffusione Milanese - Milano - Via Soperga, 57

4 copie gratuite

I N.ri 96 - 95 - 94 - 93 o altri Numeri arretrati a richiesta, saranno inviati in omaggio ai contraenti l'abbonamento 1961.

Abbonamento per 12 Numeri. . . . . lire 3.060.
Per gli abbonati al "Corso di Radiotecnica„. . . . . solo lire 2.754.

E una rivista a carattere tecnico commerciale che su ognuno dei suoi fascicoli di oltre 100 pagine, tratta — con indirizzo di praticità e accessibilità senza pari — tutti i problemi dell'elettronica.

La Televisione, la tecnica della Bassa Frequenza, con particolare riguardo all'Alta Fedeltà, l'emissione dilettantistica, le misure ed i relativi apparecchi, i transistori, ecc. sono argomenti, praticamente, di ogni numero.

Un'ampia e dettagliata rassegna della produzione nazionale ed estera offre al lettore la possibilità di mantenersi al corrente su ciò che costantemente il mercato presenta di nuovo.

È una rivista ricca di contenuto — ove tutti gli articoli sono accessibili a tutti i lettori — molto illustrata, stampata su ottima carta, razionalmente impaginata.

Abbonamento:

"RADIO e TELEVISIONE„ -

via dei Pellegrini N. 8/4, Milano

conto corrente postale: 3/4545

Ecco perchè RADIO e TELEVISIONE è la rivista del ramo a più alta tiratura in Italia!

Per la costruzione delle vostre apparecchiature radio, la Ditta GIAN BRUTO CASTELFRANCHI è in grado di fornirvi tutto il materiale occorrente. Rivolgetevi alla più vicina delle sue sedi o direttamente alla sede Centrale - Via Petrella, N. 6 - Milano.

SEDI G.B.C.

AVELLINO	- Via Vitt. Emanuele, 122
BARI	- Piazza Garibaldi, 58
BOLOGNA	- Via R. Reno, 62
BENEVENTO	- Corso Garibaldi, 12
BERGAMO	- Via S. Bernardino, 28
CIVITANOVA	- Corso Umberto, 77
CAGLIARI	- Via Rossini, 44
CATANIA	- Via Cimarosa, 10
CREMONA	- Via Cesari, 1
FIRENZE	- Viale Belfiore, 8 r
GENOVA	- Piazza J. da Varagine 7/8 r
LA SPEZIA	- Via Persio, 5 r
MANTOVA	- Via Arrivabene, 35
NAPOLI	- Via Camillo Porzio, 10 a/b
PALERMO	- Piazza Castelnuovo, 48
PADOVA	- Via Beldomandi, 1
ROMA	- Via S. Agostino, 14
TORINO	- Via Nizza, 34

Ricordate che, disponendo del "CATALOGO ILLUSTRATO GBC", potrete con facilità individuare le parti staccate che vi interessano: è un grosso volume di ben 613 pagine che potrete richiedere - con versamento di lire 1000 - all'indirizzo citato.

Dal 1931 su tutti i mercati del mondo

PARTI STACCATE PER RADIO - TELEVISIONE - AMPLIFICAZIONE - APPARECCHI ELETTRONICI

COMMUTATORI - POTENZIOMETRI - MORSETTERIE - INTERRUTTORI - CAMBI TENSIONE
PORTAVALVOLE - CLIP - SCHERMI - PRESE E SPINE JACK MINIATURA - PRESE DI RETE
PRESA FONO - RESISTENZE A FILO - FUSIBILI E PORTAFUSIBILI - ANCORAGGI MULTIPLI

CHIEDETE IL LISTINO DELLE PARTI STACCATE ED IL "BOLLETTINO TECNICO GELOSO,,

Direzione Centrale: **GELOSO** S.p.A. Viale Brenta 29 - MILANO 808

HEATH COMPANY

a subsidiary of Daystrom, Inc.

KIT

MODELLO

AV-3

REQUISITI

- Risposta piatta entro ± 1 dB da 10 Hz a 400.000 Hz.
- Partitori resistivi tarati all'1%
- Possibilità di misura da 1 mV a 300 Volt su alta impedenza.

CARATTERISTICHE

Risposta di frequenza	± 1 dB 10 Hz a 400 kHz
Sensibilità	10 millivolt fondo scala (scala bassa)
Scale	0,01, 0,03, 0,1, 0,3, 1, 3, 10, 30, 100, 300 volt efficaci di fondo scala. Gamma totale in dB: — 52 + 52 dB Scala — 12 + 2 dB (1 mW - 600 Ω) Commutatore a 10 posizioni da — 40 a + 50 dB
Impedenza d'ingresso	1 MΩ a 1 kHz
Precisione	entro il 5% a fondo scala
Partitori	tarati all'1%, del tipo ad alta stabilità
Strumento ad indice	Custodia aerodinamica di 112 m/m, equipaggio mobile da 200 microampere fondo scala
Tubi elettronici . .	2 Tubi 12AT7, 1-6C4
Alimentazione . .	in c.a. 105-125 Volt, 50÷60 Hz 10 Watt
Alimentatore	Con rettificatori al selenio e filtro di spianamento con R & C
Dimensioni . . .	altezza 18,5; larghezza 11,2, profondità 10,3 cm.
Peso netto	circa 1,6 Kg.

- Strumento ideale per la misura di segnali di BF a qualsiasi livello.
- Nuovo circuito ad aumentata stabilità.

RAPPRESENTANTE GENERALE PER L'ITALIA

LARIR soc. r. l. **MILANO** P.zza 5 GIORNATE 1
Telefoni: 795.762 - 795.763

AGENTI ESCLUSIVI DI VENDITA PER:
LAZIO - UMBRIA - ABRUZZI
Soc. FILC RADIO - ROMA
Piazza Dante, 10 - Telefono 736.771

EMILIA - MARCHE
Ditta A. ZANIBONI - BOLOGNA
Via Azzogardino, 2 - Telefono 263.359

corso di RADIOTECNICA

pubblicazione settimanale - 4 - 11 febbraio 1961 - un fascicolo lire 150 19° numero

corso di

RADIOTECNICA

settimanale a carattere culturale

Direzione, Amministrazione, Pubblicità:
Via dei Pellegrini 8/4 - Telef. 593.478
MILANO

Ogni fascicolo — contenente 3 lezioni — costa lire 150, acquistato alle edicole.

Se l'edicola risulta sprovvista, o si teme di rimanere privi di qualche numero, si chieda invio settimanale direttamente al proprio domicilio a mezzo abbonamento.

Il versamento per ricevere i 52 fascicoli costituenti l'intero Corso è di lire 6500 + I.G.E. = lire 6630. A mezzo vaglia postale, assegno bancario, o versamento sul conto corr. postale 3/41.203 del « Corso di RADIOTECNICA » - Via dei Pellegrini 8-4 - Milano.
In ogni caso, scrivere in modo molto chiaro e completo il proprio indirizzo.

L'abbonamento può essere effettuato in qualsiasi momento; si intende comprensivo delle lezioni pubblicate e dà diritto a ricevere tali lezioni, che saranno inviate con unica spedizione.

Estero: abbonamento al Corso, Lit. 8.500. ($ 15). Numeri singoli Lit. 300 ($ 0,50).

Per i cambi di indirizzo durante lo svolgimento del Corso, unire lire 100, citando sempre il vecchio indirizzo.

Fascicoli singoli arretrati — se disponibili — possono essere ordinati a lire 300 cadauno.
Non si spedisce contrassegno.

Distribuzione alle edicole di tutta Italia: Diffus. Milanese . Via Soperga, 57 - Milano.

Direttore responsabile: Giulio Borgogno.
Autorizzaz. N. 5357 - Tribunale di Milano.
Stampa: Intergrafica S.r.l. - Cologno Monzese.

La Direzione non rivende materiale radio; essa può comunicare, se richiesta, indirizzi di Fabbricanti, Importatori, Grossisti ecc. in grado di fornire il necessario ed ai quali il lettore può rivolgersi direttamente.

Alla corrispondenza con richiesta di informazioni ecc. si prega allegare sempre il **francobollo per la risposta.**

Parte del testo e delle illustrazioni è dovuta alla collaborazione del Bureau of Naval Personnel, nonchè al Dept. of the Army and the Air Force - U.S.A.

A chi può essere utile questo Corso? Anzitutto — stante la sua impostazione — il Corso, basato sull'esposizione in forma a tutti accessibile, della radiotecnica, dai suoi elementi basilari alla evoluzione più recente, rappresenta la forma ideale per tutti coloro che intendono dedicarsi all'elettronica, sia come forma ricreativa sia — soprattutto — per l'acquisizione di una professione specializzata che possa procurare loro una posizione di privilegio in seno alla società odierna.

Anno per anno, la nostra civiltà si indirizza sempre più verso questa meravigliosa, si potrebbe dire fascinosa, elettronica, che nel modo più evidente consente sviluppi impensati, progressi grandiosi e una rapida evoluzione di tutti gli altri rami dello scibile che essa tocca e influenza.

L'industria, tutta l'industria, nel senso più ampio, da quella elettrotecnica a quella meccanica, alla metallurgica, alla chimica ecc., con i suoi laboratori di ricerca e le sue fabbriche richiede, e richiederà sempre più, con un ritmo rapidamente crescente, tecnici specializzati con conoscenza dell'elettronica, tecnici specificatamente elettronici e persino operai e impiegati di ogni ordine e categoria con cognizioni di elettronica.

Si può dire che anche le branche commerciali, quelle dei trasporti e persino quelle amministrative con le recenti introduzioni delle calcolatrici, abbisognano di personale che conosca i principi dell'elettronica, le macchine relative, il loro pieno sfruttamento, la eventuale riparazione ecc. e, quanto più in modo completo, quanto meglio.

Nasce, da una tale situazione, una logica conseguenza: per la scelta di una professione o di un mestiere, per un miglioramento della propria posizione sociale, per l'intrapresa di una libera attività o anche per la sola acquisizione di cognizioni che indubbiamente verranno oltremodo utili, è quanto mai opportuno riflettere se non sia conveniente dedicare un po' di tempo allo studio di questa scienza che ha tra l'altro il pregio di rendersi immediatamente attraente, concreta, accessibile e foriera di moltissime soddisfazioni.

A questo scopo appunto, e con questi intenti, è stato redatto questo Corso.

Non mancano invero altri corsi (specie per corrispondenza) o scuole di radiotecnica, nè mancano (sebbene siano in numero del tutto inadeguato) scuole statali o pareggiate ma la struttura e l'impostazione che caratterizzano queste 156 lezioni sono alquanto particolari, presentando non pochi vantaggi sulle diverse altre forme di cui si è detto.

Anzitutto vogliamo porre in evidenza **il fattore economico.**

Frequentare regolarmente, durante tutto l'anno, una scuola è certo il modo più logico — anche se non il più rapido — per apprendere ma, tralasciando il fatto che rarissimi sono gli Istituti di radiotecnica, è a tutti possibile dedicarsi esclusivamente, e per l'intero anno, allo studio? Noi riteniamo che chi può farlo costituisca oggi assai più l'eccezione che la regola. Ciò significa infatti poter disporre liberamente del proprio tempo senza avere la necessità di un contemporaneo guadagno: il nostro Corso permette a chiunque di studiare a casa propria, nelle ore libere dal lavoro, senza abbandonare o trascurare quest'ultimo. Ciò caratterizza invero anche altri corsi, ma il vantaggio economico diviene notevole ed evidentissimo se si considera che di fronte all'esborso, anche se rateale, di quasi 80.000 lire che i corsi per corrispondenza richiedono, seguendo il nostro Corso la spesa in un anno risulta di poco più di 7500 lire (150 lire alla settimana presso un'edicola) o di 6630 lire totali, con recapito postale, settimanale, delle lezioni a domicilio.

E' superfluo dire che la Modulazione di Frequenza, i transistori, i circuiti stampati, la trasmissione, il telecomando ecc. sono argomenti integrali del Corso e non costituiscono motivo di corsi speciali, aggiunti o particolari.

Le lezioni di questo Corso — a differenza di molte altre — non sono stampate con sistemi di dispensa, a ciclostile, o con sistemi più o meno analoghi, derivanti cioè da un originale battuto a macchina da scrivere; esse sono stampate in uno stabilimento grafico, con chiari caratteri tipografici da cui deriva una assai più agevole lettura e — fattore certamente di non secondaria importanza — un contenuto molto più ampio, corrispondendo una pagina a stampa a tre o quattro pagine di quelle citate. Il lettore avrà, alla fine del Corso, un volume di ben 1248 pagine di grande formato!

Chiunque, indipendentemente dall'età, dalla professione e dalle scuole compiute **può seguire il Corso.** Alle esposizioni teoriche si abbinano numerose, attraenti, istruttive ed utili descrizioni che consentono la realizzazione di ricevitori, amplificatori, strumenti vari e persino di trasmittenti su onde corte.

A questo proposito è sintomatico il fatto che la Direzione non vuole assolutamente assumere la fisionomia di un fornitore o commerciante di materiale radio, rivendendo agli allievi le parti necessarie. Il materiale occorrente l'interessato può acquistarlo dove e come meglio crede e, assai spesso anzi, già ne dispone. Viene così evitato l'acquisto forzoso, caratteristico più o meno di tutti gli altri corsi.

Anche chi è già radiotecnico, anche chi ha seguito o segue altri corsi troverà il massimo tornaconto in questo completo ed aggiornato lavoro. Molte nozioni, è logico, saranno note, altre un po' meno e sarà utile rinfrescarle, e il tutto infine costituirà un manuale di consultazione, prezioso tanto per la teoria esposta quanto per i numerosi schemi, per le tabelle, per i grafici, gli elenchi, i dati, il vocabolario dei termini ecc.

Concludendo, si può affermare che questo **Corso di Radiotecnica** oltre che come insegnamento graduale si presenta come **enciclopedia e rivista assieme** ciò che permette di formare — con modestissima spesa — **il più completo, ricco, utile e pratico volume di radiotecnica di cui sia dato oggigiorno disporre.**

AMPLIFICAZIONE di ALTA e di BASSA FREQUENZA

Compito di un amplificatore di B. F. è quello di amplificare tutte le frequenze della gamma acustica nella maniera più uniforme possibile. Un amplificatore di Alta Frequenza, per contro, amplifica soltanto una parte della estesa gamma della radiofrequenza. Gli amplificatori per radiofrequenza adottano perciò circuiti risonanti o sintonizzati su frequenze determinate, mentre quelli per frequenze audio presentano circuiti non risonanti.

AMPLIFICATORI di TENSIONE ad ALTA FREQUENZA

Sappiamo oramai bene che nei radioricevitori il segnale captato dall'antena è estremamente debole, e che, inoltre, viene ricevuto contemporaneamente a tutti i segnali provenienti dalle varie stazioni emittenti; il segnale che interessa deve essere scelto tra tutti ed amplificato prima di essere applicato al rivelatore e quindi alla sezione di B.F. Tutti gli stadi di amplificazione in A.F. sono amplificatori di tensione e funzionano in classe A allo scopo di offrire, con una elevata amplificazione, la minima distorsione. Come abbiamo visto nell'esame del ricevitore radio a stadi accordati, l'uso di tali stadi incrementa tanto la sensibilità quanto la selettività.

Nei trasmettitori si richiedono invece amplificatori di potenza ad A.F.; essi devono amplificare la minima potenza sviluppata dall'oscillatore, ossia da uno stadio che genera le oscillazioni, allo scopo di irradiare la massima energia tramite l'antenna. Gli amplificatori di potenza a radiofrequenza possono funzionare tanto in classe B quanto in classe C.

In quest'ultimo caso, la potenza resa è maggiore ma, data la notevole distorsione della classe C, quando la radiofrequenza è modulata, è più opportuno usare stadi in classe B. Se la modulazione viene effettuata nello stadio di amplificazione finale, tutte le altre valvole possono funzionare in classe C: in questo caso si ha una modulazione ad *alto livello*. Se la modulazione viene applicata invece al penultimo stadio, quello d'uscita deve funzionare in classe B: quest'ultimo sistema è denominato modulazione a *basso livello*.

Tipi di valvole impiegate

Le valvole amplificatrici a radiofrequenza nei ricevitori sono quasi sempre dei pentodi. Essi, grazie alla loro grande trasconduttanza, assicurano una elevata amplificazione per ogni stadio. I pentodi hanno inoltre — come abbiamo visto nella lezione loro dedicata — una bassa capacità interelettrodica, per cui non necessitano di alcun sistema di neutralizzazione per annullare il segnale che dalla placca ritorna al circuito di griglia. Sappiamo che un provvedimento del genere è invece indispensabile per un triodo, onde evitare indesiderate oscillazioni.

Se l'amplificazione deve essere controllata variando la polarizzazione di griglia degli stadi a radiofrequenza, è noto (vedi pagina 392) che è necessario usare una valvola a μ variabile.

I pentodi per A.F. di tipo normale presentano degli inconvenienti se vengono utilizzati per il funzionamento con frequenze molto elevate, data la capacità interelettrodica, che in tale impiego risulta grande, e dato il tempo di transito relativamente lungo. Per **tempo di transito** si intende il tempo impiegato da un elettrone per trasferirsi da un elettrodo all'altro nella valvola. Con l'aumentare della frequenza, tale tempo diventa una parte apprezzabile del ciclo e acquista una notevole importanza; si verifica una diminuzione della resistenza interna della valvola, che equivale ad una diminuzione del fattore di merito Q, del circuito sintonizzato in parallelo alla valvola.

Il tempo di transito viene ridotto riducendo tutte le dimensioni fisiche e gli spazi interelettrodici, come si può notare nella struttura delle valvole miniatura e dei tipi così detti a « ghianda ».

Le valvole usate nei ricevitori e nei trasmettitori sono del tutto simili tra loro, fatta eccezione per le dimensioni. Dal momento che una gran parte dei tipi per trasmissione è costituita da valvole di potenza, destinate ad amplificare forti tensioni e notevoli correnti, le dimensioni ed il peso logicamente sono maggiori che non nelle valvole riceventi. Infine, diremo che nei trasmettitori più potenti, le valvole finali sono addirittura raffreddate con sistemi meccanici come ventilatori o tubi conduttori d'acqua posti intorno ad esse.

Sistemi di accoppiamento

Amplificatori di tensione non sintonizzati. Sebbene la maggior parte degli stadi di amplificazione ad A.F., come abbiamo premesso, siano sintonizzati, a volte, per motivi particolari, anche con la radiofrequenza si ricorre all'uso di stadi non sintonizzati, come quello illustrato in **figura 1**. Questi stadi sono detti **aperiodici.**

Per lo più si usano accoppiamenti del tipo a impedenza-capacità, ma alcuni amplificatori di questo tipo sono accoppiati anche a trasformatore. In entrambi i casi l'im-

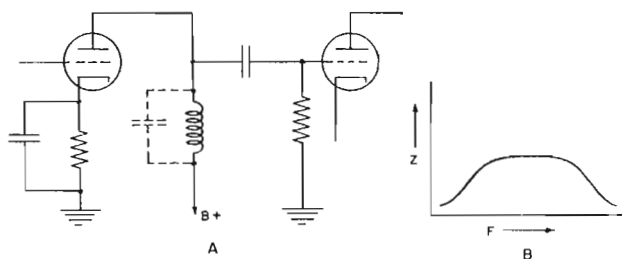



Fig. 1A — Schema di uno stadio di amplificazione ad Alta Frequenza aperiodico, ossia indipendente dalla frequenza. L'accoppiamento è — in questo caso — ad impedenza e capacità (LC). In B è rappresentata la curva di risposta che esso presenta nei confronti di una determinata gamma di frequenze.

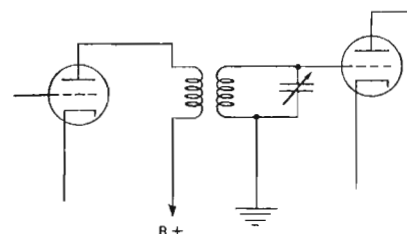



Fig. 2 — Un condensatore variabile, collegato in parallelo al secondario del trasformatore di accoppiamento, rende lo stadio sintonizzato. La frequenza di funzionamento dipende dai valori di induttanza e capacità del circuito LC.

pedenza di carico della valvola è costituita dall'avvolgimento dell'impedenza, o dal primario del trasformatore, e dalla capacità ad essi in parallelo. Questa capacità consiste nella capacità interelettrodica della valvola ed in quella distribuita della bobina e dei conduttori. La figura 1-**B** illustra la curva di risonanza di un amplificatore aperiodico.

Amplificatori di tensione sintonizzati. Se in parallelo all'impedenza, o all'avvolgimento secondario del trasformatore di un circuito aperiodico si pone un condensatore variabile, (**figura** 2), il circuito può essere sintonizzato su qualsiasi frequenza desiderata entro una determinata gamma limitata dai valori di *L* e di *C* adottati. L'amplificatore a radiofrequenza sintonizzato è usato ampiamente negli stadi di ingresso dei ricevitori a stadi accordati e nei ricevitori supereterodina: dei primi abbiamo già detto, dei secondi ci occuperemo quanto prima. Ricordiamo qui i diversi vantaggi derivanti dall'adozione dei circuiti sintonizzati. In primo luogo, è possibile ottenere la massima amplificazione per ogni ben definita frequenza, in quanto la curva di risonanza è relativamente acuta; in secondo luogo, i segnali di ogni data frequenza, o di una gamma di frequenze, possono essere amplificati molto di più che non quelli al di fuori di tali valori. Se, ad esempio, uno stadio ad A.F. sintonizzato presenta una curva di risonanza come quella illustrata in **figura 3**, vengono amplificati i segnali compresi tra 1.000 e 1.010 kHz; quelli al di fuori di tale gamma di frequenze vengono amplificati solamente secondo l'assai più ridotta ampiezza indicata dalle falde della curva stessa.

I segnali a radiofrequenza irradiati da un'antenna comprendono la frequenza portante, e in più o in meno la frequenza acustica che la modula. Tutte le stazioni trasmittenti a modulazione di ampiezza hanno una ampiezza della banda di modulazione limitata a 10.000 Hertz, ossia 5.000 Hz per ogni lato, inferiore e superiore, della frequenza portante.

Se, come stadio di ingresso di un radioricevitore, viene usato un amplificatore ad A.F., la citata gamma o banda di frequenze acustiche, per una buona fedeltà di riproduzione, deve essere amplificata in maniera uniforme.

Supponiamo che il trasmettitore funzioni con una frequenza portante di 1.005 kHz: il ricevitore deve essere in grado di rispondere ad una gamma di frequenze da 1.000 a 1.010 kHz. Nella curva di responso ideale di un amplificatore, rappresentata dalla **figura 4**, tutti i segnali compresi nella gamma desiderata sono amplificati uniformemente, mentre non si ha amplificazione al di là degli estremi.

In pratica però, tale curva non può essere ottenuta.

AMPLIFICATORI di TENSIONE a BASSA FREQUENZA

Sistemi di accoppiamento

La maggior parte degli apparecchi radio nella sezione di Bassa Frequenza necessita di più di un solo stadio di amplificazione (sia di tensione che di potenza). Allo scopo di ottenere un maggior guadagno, è necessario perciò collegare tra loro diversi stadi: quando l'uscita di uno di essi diventa l'entrata del successivo, la sistemazione — ricordiamo — viene denominata « amplificazione in cascata ».

Per l'accoppiamento degli stadi in Bassa Frequenza si usano sistemi differenti da quelli testè accennati per gli stadi di Alta Frequenza. Dato che questi ultimi impiegano circuiti oscillanti come carichi di placca, gli stadi sono per lo più accoppiati mediante circuiti sintonizzati il che non può essere, come è stato detto all'inizio di lezione, per la Bassa Frequenza.

Esistono diversi metodi di accoppiamento per l'amplificazione a Bassa Frequenza; ognuno di essi ha i suoi vantaggi ed i suoi inconvenienti, per cui la scelta del tipo di accoppiamento dipende dalle particolari esigenze del circuito. I metodi basilari sono i seguenti: accoppiamento a resistenza e capacità, ad impedenza, a trasformatore, accoppiamento catodico ed accoppiamento diretto.

Accoppiamento a resistenza e capacità. Questo tipo di accoppiamento, detto comunemente ad RC, è uno dei più usati negli amplificatori a Bassa Frequenza. Esso è illustrato alla **figura 5**, nella quale il condensatore C_c e la resistenza R_g sono le unità di accoppiamento.

Un piccolo segnale applicato alla griglia della valvola V_1, viene convertito in un segnale di notevole ampiezza ai capi della resistenza di carico di placca, R_c, grazie al coefficiente di amplificazione della valvola stessa. Il condensatore di accoppiamento accoppia il segnale a c.a. dalla placca di V_1 alla griglia di V_2; esso impedisce anche al potenziale positivo a c.c. presente sulla placca di V_1 di trasferirsi sulla griglia di V_2. La tensione del segnale è presente ai capi della resistenza di griglia R_g ed è perciò alla griglia di V_2. La resistenza R_c costituisce anche una

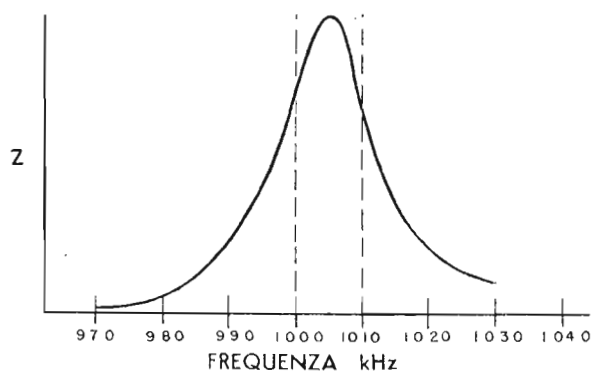



Fig. 3 — Curva di risposta di uno stadio di amplificazione sintonizzato; Z è massima per la frequenza di risonanza.

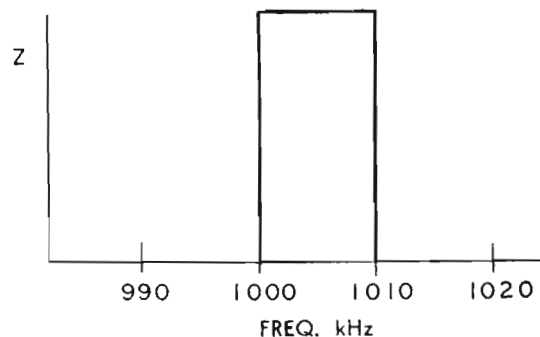



Fig. 4 — Curva ideale di responso di uno stadio sintonizzato. L'amplificazione ha luogo soltanto per la gamma di sintonia.

possibilità di fuga a massa per tutti gli elettroni che si possono eventualmente accumulare sul lato griglia del condensatore C_c.

Il principale vantaggio dell'amplificatore RC consiste nella sua attitudine ad amplificatore in maniera uniforme tutti i segnali di un'ampia gamma di frequenze. Ciò è illustrato dalla curva di risposta alla frequenza di un amplificatore audio tipico con accoppiamento a RC, visibile in **figura 6**. La curva è ricavata applicando segnali ad ampiezza costante, ma di diversa frequenza, all'entrata dell'amplificatore, misurando l'ampiezza di tensione d'uscita con uno strumento di precisione adeguata, come ad esempio un voltmetro a valvola, e tracciando la curva punto per punto sul diagramma. Detta curva si chiama **curva del responso di frequenza**. Sull'asse verticale si hanno i valori di ampiezza lineari, e su quello orizzontale i valori di frequenza su scala logaritmica: quest'ultimo accorgimento, al fine di racchiudere in uno spazio esiguo l'intera gamma delle frequenze udibili.

Se si desidera che il coefficiente di amplificazione di V_1 della figura 5, sia elevato, è necessario fare in modo che il valore ohmico del carico anodico sia il più alto possibile. Però, come si vede dalla figura 6, un valore alto di R_c dà, è vero, una notevole amplificazione, ma presenta anche un andamento (responso) alla frequenza scadente. Un valore basso di R_c dà un ottimo responso alla frequenza ma bassa amplificazione. È necessario perciò raggiungere un compromesso che dia valori apprezzabili per entrambe le caratteristiche.

La figura 5 mostra che la resistenza di griglia di V_2 è, in effetti, in parallelo alla resistenza di carico di V_1: pertanto R_g deve essere maggiore di R_c onde non ridurre il valore effettivo di quest'ultima, ai capi della quale si sviluppa il segnale. Normalmente, il valore di R_g è superiore al doppio della resistenza di placca; tuttavia, non può essere un valore eccessivamente alto in quanto gli elettroni che si accumulano sulla griglia devono avere la possibilità di sfuggire verso massa, al fine di evitare un'autopolarizzazione che può altrimenti raggiungere il valore di interdizione della valvola.

Osservando le curve della figura 6 si può notare che l'amplificazione è scarsa alle estremità alta e bassa della gamma di frequenze. Il motivo di questo fatto può essere chiarito ridisegnando il circuito di accoppiamento RC nel modo illustrato alla **figura 7**. Nei confronti delle frequenze più basse, la reattanza di C_c diventa alta, per cui esso equivale ad una resistenza che, essendo in serie ad R_g forma con questa un partitore: assai poco segnale risulta ai capi di R_g stessa, per essere applicato alla griglia di V_2; di conseguenza, la capacità di tale condensatore deve essere alta onde evitare perdite di ampiezza delle frequenze basse. Tuttavia, una capacità molto alta non può essere usata in quanto una grande capacità impiega troppo tempo per scaricarsi attraverso la resistenza di griglia allorchè viene inizialmente caricata da un forte segnale.

I valori del condensatore di accoppiamento e della resistenza di griglia devono essere scelti in modo tale da permettere la scarica anche del segnale più intenso, evitando nello stesso tempo la citata attenuazione dei segnali a frequenza più bassa. Valori opportuni sono indicati in una serie di tabelle che inseriremo in prossime lezioni (60ª e 61ª).

Nei confronti delle frequenze elevate, la reattanza di C_c è talmente bassa che esso si comporta come se fosse in cortocircuito per i segnali. Tuttavia, la reattanza della capacità esistente nelle valvole tra catodo e placca, nonchè della capacità distribuita tra la massa (chassis) ed i vari collegamenti del circuito (rappresentate entrambe dal condensatore tratteggiato sullo schema di figura 7) a tali frequenze acquistano notevole importanza. Essendo tali capacità praticamente in parallelo alla resistenza di carico R_c, e dal momento che la loro reattanza diminuisce con l'aumentare della frequenza, le frequenze più elevate della gamma audio risultano in parte convogliate a massa. Questo è il motivo del minor rendimento alla estremità alta della gamma di frequenze.

Il vantaggio principale dell'accoppiamento RC negli amplificatori, sta nella possibilità di ottenere un'amplificazione uniforme, nonostante quanto ora visto, entro una gamma relativamente ampia. Altri vantaggi consistono nel costo ridotto dei componenti necessari, nelle ridotte dimensioni dell'assieme che permettono una discreta compattezza nella realizzazione del circuito, ed in una certa semplificazione nei confronti degli altri sistemi. Uno svantaggio è invece costituito dal fatto che non si ha alcuna possibilità di aumento di tensione in virtù degli organi di accoppiamento; dal momento che l'amplificazione possibile è dovuta esclusivamente alle valvole, per ottenere una determinata amplificazione è necessario un numero di stadi maggiore che non se l'accoppiamento fosse effettuato mediante trasformatore, che — come è noto — innalza, se necessario, la tensione.

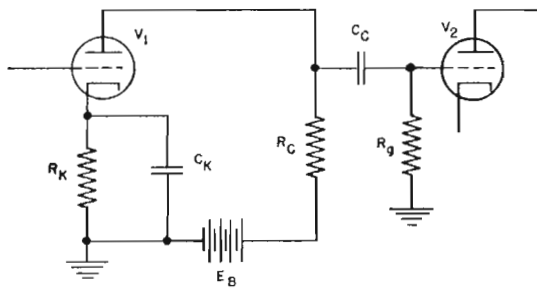



Fig. 5 — Accoppiamento RC tra due stadi in Bassa Frequenza. Il segnale amplificato da V1 si sviluppa ai capi di R_c, e, tramite C_c passa sulla griglia di V2, mentre la componente continua resta bloccata.

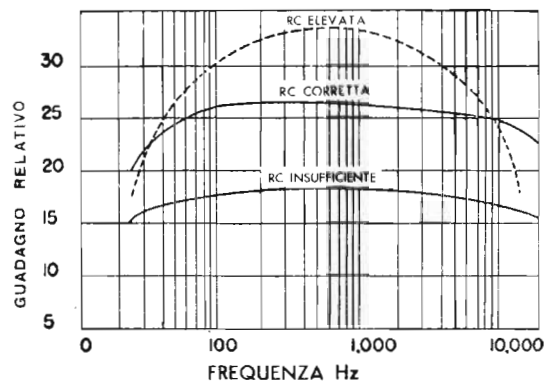
Fig. 6 — Curve di responso con varie resistenze di carico.

Il guadagno di un amplificatore è il rapporto tra l'ampiezza del segnale amplificato presente sulla placca e quella del segnale di ingresso portato alla griglia. L'amplificazione di tensione da parte di uno stadio dipende dal coefficiente di amplificazione della valvola, dalla sua resistenza di placca, R_p e dal valore della resistenza di griglia dello stadio successivo, R_g. In un amplificatore del tipo RC la resistenza effettiva di carico della valvola è approssimativamente eguale alla resistenza di carico reale, in parallelo alla resistenza di griglia dello stadio successivo. Il valore risultante dalla combinazione di queste due resistenze, rappresentato dal simbolo R_e, è considerato come resistenza equivalente. L'amplificazione di tensione è espressa quindi dalla seguente equazione:

$$\text{amplificazione di tensione} = \frac{\mu \times R_e}{R_e \times R_p}$$

Accoppiamento ad impedenza — L'accoppiamento mediante impedenza è analogo al sistema RC, ad eccezione del fatto che il carico anodico nella valvola amplificatrice, come illustrato alla **figura 8**, è costituito da un'induttanza o impedenza, invece che da una resistenza. Il vantaggio di questa sostituzione sta nel fatto che l'impedenza risulta alta agli effetti della componente alternata, mentre è bassa o addirittura trascurabile per la corrente continua. Per questo è possibile ottenere alti valori di impedenza di carico per l'amplificazione della tensione a c.a. (segnale), pur usando una bassa tensione di alimentazione anodica, in quanto la corrente anodica, in assenza di segnale, causa una caduta di tensione assai bassa ai capi della resistenza ohmica dell'avvolgimento che è di basso valore, specialmente se posta a confronto con la resistenza di carico del sistema RC.

Uno svantaggio del sistema di accoppiamento ad impedenza e capacità (detto anche LC), è che l'amplificazione non è molto uniforme alle varie frequenze: infatti, la reattanza induttiva dell'avvolgimento ($X_L = 2\pi FL$) è minima per i segnali a frequenza molto bassa, e massima per quelli a frequenza molto alta, per cui l'amplificazione aumenta con l'aumentare della frequenza stessa del segnale.

Accoppiamento a trasformatore — Come si nota allo schema della **figura 9-A**, nel sistema di accoppiamento a trasformatore, si usa tale dispositivo (che può essere per Alta o per Bassa Frequenza), per accoppiare il segnale tra gli stadi. Il primario funge da carico nei confronti del primo stadio, mentre il secondario applica la tensione alla griglia della valvola successiva.

Come nel caso dell'accoppiamento LC, l'accoppiamento a trasformatore ha il vantaggio di una bassa caduta di tensione ai capi del primario. Inoltre, se l'avvolgimento secondario ha un numero di spire maggiore che non il primario, la tensione d'uscita è maggiore proporzionalmente al rapporto tra il numero di spire degli avvolgimenti.

Questo sistema è particolarmente comodo per l'accoppiamento ad un amplificatore di potenza in controfase, in quanto un trasformatore è in grado di fornire contemporaneamente due tensioni di eguale ampiezza, ma reciprocamente sfasate di 180°, come è illustrato dalla figura 9-**B**, e, come si è visto precedentemente, gli stadi in « push-pull » possono funzionare in classe B per dare una notevole potenza con distorsione sufficientemente bassa.

La **figura 10** illustra il responso di frequenza di un amplificatore tipico a Bassa Frequenza con accoppiamento a trasformatore. In essa si può notare che tale accoppiamento permette un notevole guadagno ed un responso relativamente costante nella zona centrale della gamma, mentre ha un rendimento scadente sia per le frequenze molto basse che per quelle molto alte. La perdita di amplificazione per le frequenze più basse è dovuta alla bassa reattanza del primario del trasformatore a tali frequenze; d'altra parte, l'amplificazione stessa, come si è visto, diminuisce rapidamente non appena si raggiunge un certo valore di frequenza anche verso l'estremità più alta della gamma, e qui la causa è della capacità distribuita tra le spire, dell'induttanza dispersa, della capacità tra avvolgimenti e massa, nonchè delle perdite di c.a., sempre crescenti con la frequenza, nel nucleo di ferro.

In prossimità dell'estremo alto della gamma di frequenze, la reattanza del primario del trasformatore è talmente alta che la sua influenza può essere trascurata. Tuttavia, in un certo punto, l'induttanza dispersa si combina con la capacità distribuita del circuito, costituendo un circuito risonante, i cui effetti si manifestano sotto forma di un picco a gomito, come si vede nella curva di risposta illustrata in figura 10.

Negli amplificatori di classe AB e B, esiste un'ulteriore, importante esigenza che obbliga all'uso dell'accoppiamento a trasformatore: la maggior parte di tali amplificatori comporta l'applicazione alle griglie di segnali la cui ampiezza

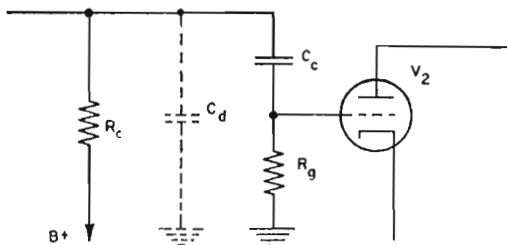



Fig. 7 — La reattanza di C_c e la resistenza R_g costituiscono un partitore che attenua il segnale alle frequenze basse. Nei confronti delle alte — invece — l'attenuazione è data dalle capacità parassite, rappresentate da C_d.

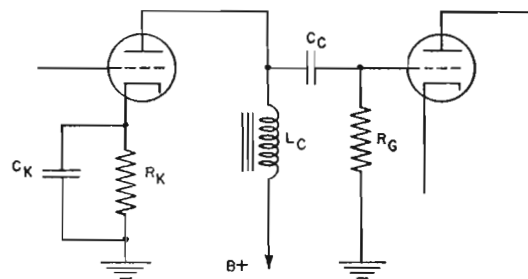



Fig. 8 — Accoppiamento LC. L'impedenza si comporta come una resistenza di carico, ma offre una bassa resistenza alla corrente continua, per cui la tensione di placca può essere maggiore che non nel tipo RC.

è tale che le stesse possono funzionare con un potenziale positivo durante una parte del ciclo del segnale applicato.

Se viene applicato potenziale positivo ad una griglia si ha, ovviamente, una corrente di griglia, e se il circuito di quest'ultima è realizzato con una resistenza, la corrente di griglia che la percorre provoca una tensione di polarizzazione che si oppone all'assunzione del potenziale positivo, riducendo così la potenza d'uscita e dando luogo a distorsione.

La resistenza alla c.c. del circuito di griglia di tali amplificatori deve quindi essere contenuta entro valori minimi onde evitare la polarizzazione dovuta alle correnti di griglia quando questa diventa positiva: la bassa resistenza ohmica dell'avvolgimento secondario di un trasformatore di accoppiamento risponde adeguatamente a tale esigenza. Pertanto, negli stadi di amplificazione di potenza in classe AB_2 e B si ricorre sempre al sistema di accoppiamento mediante trasformatore.

Come sappiamo, i trasformatori sono dispositivi ideali per l'adattamento di impedenze. Per ottenere il massimo rendimento, ossia il più elevato trasferimento di potenza dal circuito anodico dello stadio precedente al circuito di griglia di quello successivo, l'impedenza d'uscita del primo deve essere adattata a quella di ingresso del secondo. Questo risultato può essere conseguito convenientemente con un trasformatore avente un appropriato rapporto di spire. L'argomento sarà oggetto dell'intera lezione 58ª.

Accoppiamento catodico: nella lezione 37ª, relativa ai trasformatori, abbiamo appreso che il trasferimento della massima potenza da un circuito ad un altro avviene allorchè l'impedenza interna del circuito di carico equivale a quella della sorgente di energia. Sappiamo inoltre che, per adattare tra loro due circuiti aventi impedenze diverse, si ricorre sovente all'impiego di trasformatori.

Questi ultimi, tuttavia, impongono alcune limitazioni, in particolar modo a causa della loro caratteristica di responso, limitato nei confronti di un'ampia gamma di frequenze. Nei circuiti in cui la linearità di responso è una caratteristica essenziale, per adattare due diverse impedenze si ricorre ad una valvola, usata in modo del tutto particolare.

Dal momento che — in linea di massima — il problema consiste nell'adattare una sorgente di energia avente un'impedenza interna elevata, ad un carico avente invece una impedenza ridotta, il dispositivo che consente l'adattamento deve essere caratterizzato da un ingresso ad alta impedenza e da un'uscita — per contro — ad impedenza ridotta. Il circuito di una valvola avente tali caratteristiche viene chiamato « accoppiamento catodico » (in inglese « cathode follower »).

La **figura 11** rappresenta appunto un esempio di tale circuito. La tensione di ingresso, (E_i), viene applicata alla griglia della valvola, mentre quella di uscita, (E_u), viene prelevata ai capi della resistenza catodica R_K. Dal momento che quest'ultima è di basso valore ohmico, mentre la resistenza di ingresso (R_g) è di valore elevato, il circuito presenta la caratteristica alla quale ci siamo riferiti, ossia un'impedenza elevata in ingresso e bassa in uscita.

La inevitabile esclusione del condensatore di notevole capacità ai capi della resistenza di catodo, (la quale — come ben sappiamo — determina la polarizzazione di griglia), fa sì che la stessa tensione di polarizzazione di griglia non sia costante, bensì vari col variare del segnale di ingresso. Rammentiamo a tale proposito che la polarizzazione, per essere tale, deve essere costante ed indipendente dal segnale. Quest'ultimo viene sommato algebricamente alla prima, facendo in tal modo variare la corrente anodica.

Nelle dette condizioni, durante le semionde negative del segnale, la corrente anodica tende a diminuire: ciò corrisponde contemporaneamente ad una diminuzione della caduta di tensione ai capi di R_K, e quindi ad una diminuzione della tensione di polarizzazione. Tale diminuzione tende invece a far aumentare la corrente anodica. I due effetti, contrari tra loro, ostacolano l'amplificazione.

Il guadagno di tensione di uno stadio ad accoppiamento catodico è inferiore all'unità: in altre parole, è — in effetti — una attenuazione. Esso consente tuttavia una amplificazione *di potenza*. La sua caratteristica principale risiede nel fatto che il responso alla frequenza è particolarmente lineare: per questo motivo viene spesso usato come stadio di ingresso negli strumenti di misura, e, per determinati scopi, anche come stadio di uscita.

Si noti che — a differenza del sistema di accoppiamento convenzionale — l'accoppiamento catodico dà un segnale d'uscita in fase col segnale di entrata.

Il fenomeno che determina la linearità di responso alla frequenza consiste nella citata influenza che il circuito di placca esercita sul circuito di griglia, internamente alla valvola. Ciò costituisce una « controreazione » (della

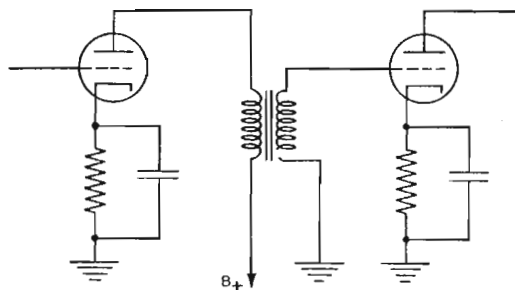



Fig. 9A — Accoppiamento a trasformatore. È simile all'accoppiamento LC, con la differenza che il segnale trasferito allo stadio successivo può avere una ampiezza maggiore o minore, a seconda del rapporto tra le spire.

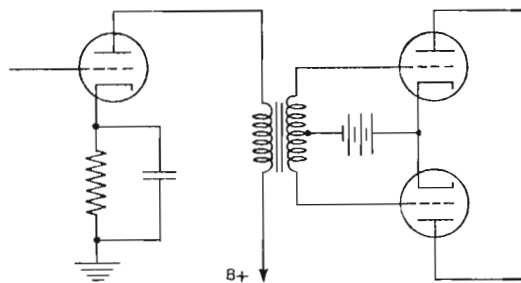



Fig. 9B — Accoppiamento a trasformatore tra uno stadio pilota ed uno stadio finale in « push-pull ». Il segnale presente ai capi del secondario viene applicato alle due griglie contemporaneamente, con fase opposta.

quale ci occuperemo dettagliatamente in futuro) che, se da un lato contribuisce a rendere uniforme il responso, dall'altro — ripetiamo — va a danno dell'amplificazione. Il segnale d'uscita, grazie appunto a detta controreazione, non presenta la minima distorsione, per cui il circuito di adattamento così realizzato offre notevoli vantaggi nei confronti dell'adattamento di impedenza mediante trasformatore.

Il valore della resistenza di catodo necessario per fornire una determinata impedenza di uscita, può essere calcolato mediante la formula seguente:

$$R_k = \frac{Z_o \, r_p}{r_p - Z_o \, (\mu + 1)}$$

nella quale Z_o è l'impedenza di uscita, r_p la resistenza di placca e μ il fattore di amplificazione della valvola.

Esistono dei casi speciali nei quali la resistenza di catodo, R_k, viene sostituita da un'impedenza o dal primario di un trasformatore. In tal caso però la presenza di un valore reattivo determina una discriminazione di frequenza.

Accoppiamento diretto — Nei circuiti di accoppiamento fino ad ora considerati, il mezzo di collegamento isola la tensione a c.c. della placca dal circuito di griglia dello stadio successivo, mentre permette il passaggio alla sola componente alternata, ossia al segnale. In un amplificatore ad accoppiamento diretto, invece, la placca di una valvola è collegata direttamente alla griglia della successiva, senza alcun dispositivo di blocco o di accoppiamento, come è illustrato alla **figura 12**. Dal momento che la placca della prima valvola ha un potenziale positivo maggiore del suo catodo, la griglia della seconda valvola viene a trovarsi ad un potenziale positivo; dovendo essere, invece, anch'essa negativa rispetto al proprio catodo, è necessario collegare quest'ultimo ad un punto che sia maggiormente positivo rispetto al potenziale della griglia. Ciò è realizzabile mediante l'impiego di uno speciale partitore di tensione, come è illustrato alla figura 12.

Seguiamo la distribuzione delle tensioni su detto partitore, a partire dal terminale avente il massimo potenziale negativo. Notiamo che la griglia di V_1 è collegata al punto *A* attraverso la resistenza di griglia R_g. La polarizzazione appropriata è ottenuta collegando il catodo di V_1 al punto *B* del partitore, ove cioè il potenziale è più positivo che non nel punto *A*.

La placca di V_1 è, a sua volta, collegata al punto *D* sul partitore attraverso la resistenza di carico R_c, la quale agisce contemporaneamente da resistenza di griglia per la valvola successiva, V_2. Dal momento che il punto *D* è più positivo di *A* e di *B*, la placca di V_1 ha automaticamente una alimentazione anodica adatta. Si noti che, quando la corrente anodica scorre attraverso R_c la caduta di tensione che si forma ai suoi capi riduce la tensione di placca.

Il punto *D* è collocato sul partitore in modo tale che circa la metà dell'intera tensione di alimentazione disponibile venga utilizzata per il funzionamento di V_1. La placca della valvola V_2 è invece collegata al punto *E* (nel quale si ha il massimo potenziale positivo), attraverso una resistenza di carico adatta. Il catodo di V_2 è, a sua volta, collegato al punto *C*, il quale ha un potenziale leggermente più positivo della placca di V_1. La giusta polarizzazione di V_2 è ottenuta mediante la caduta di tensione creata dalla corrente anodica.

Se le tensioni delle valvole sono regolate in modo da permettere il funzionamento in classe A, il circuito costituisce un amplificatore privo di qualsiasi distorsione, avente un responso di frequenza uniforme su una gamma di frequenze veramente molto ampia.

Gli amplificatori ad accoppiamento diretto vengono usati per l'amplificazione di frequenze molto basse, in quanto l'impedenza degli elementi di accoppiamento (che sono semplici conduttori), non varia col variare della frequenza.

AMPLIFICATORI di POTENZA a BASSA FREQUENZA

Dal momento che l'altoparlante o le cuffie di un ricevitore devono sviluppare una notevole potenza acustica, la valvola amplificatrice finale deve erogare una potenza d'uscita sufficiente. Essa deve però far sì che con tale potenza si abbiano segnali la cui forma d'onda sia il più possibile simile a quella dei segnali di ingresso. Ne consegue che un amplificatore di potenza funzionante con una sola valvola deve essere necessariamente in classe A; se funziona con due valvole in opposizione di fase, può funzionare tanto in classe A quanto in classe AB o B.

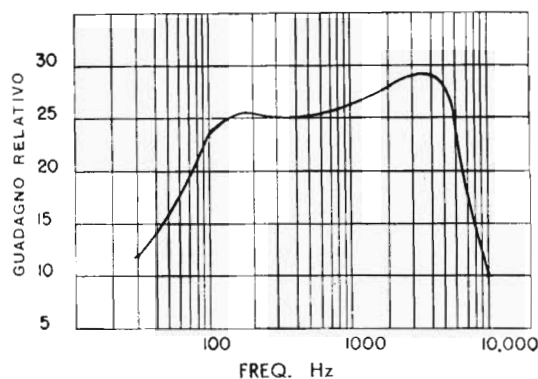



Fig. 10 — Curva con accoppiamento a trasformatore.

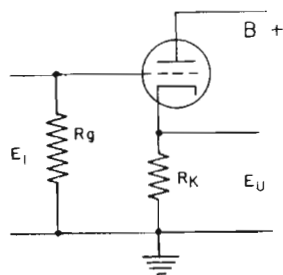



Fig. 11 — Stadio con uscita catodica. Il segnale si sviluppa ai capi di R_k ed è in fase col segnale di griglia. Non amplifica.

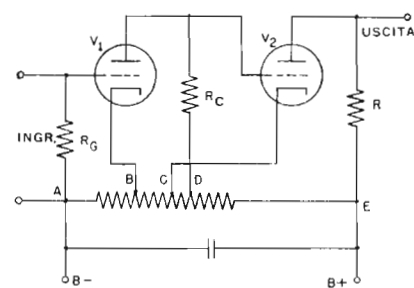



Fig. 12 — Accoppiamento diretto tra due stadi. La griglia di V2, pur essendo collegata alla placca di V1 (positiva), è negativa rispetto al catodo (potenziale relativo).

Come abbiamo già visto, per contenere la distorsione entro un valore minimo, un triodo deve funzionare con un carico la cui impedenza sia eguale al doppio della sua resistenza di placca. I pentodi e le valvole a fascio elettronico, hanno una resistenza di placca di un valore molto più elevato che non i triodi. Per questo si avrebbe una distorsione eccessiva se si mantenessero le medesime proporzioni e cioè il valore del carico pari a due volte quello della resistenza di placca.

Per i pentodi e per le valvole a fascio elettronico di potenza i valori di carico sono perciò enunciati dal fabbricante e variano tra 2.000 e 12.000 ohm, a seconda del tipo di valvola e delle tensioni di funzionamento. Con un così notevole divario di adattamento, la maggior parte di potenza del segnale disponibile viene dispersa nella valvola stessa sotto forma di calore, ma, grazie al notevole fattore di amplificazione, è egualmente possibile ottenere una potenza d'uscita apprezzabile con un segnale di ingresso di valore basso.

Caratteristiche delle valvole di potenza

Poichè in un amplificatore in cascata ogni valvola amplifica la tensione del segnale (in misura minore quelle dell'ultimo stadio) si può correre il rischio che la tensione venga amplificata, prima di essere introdotta nell'amplificatore di potenza, al punto tale che possa verificarsi una considerevole distorsione se la griglia di quest'ultimo diventa positiva o assume il valore di interdizione. Per questo motivo le valvole finali sono progettate in modo da avere una curva caratteristica relativamente rettilinea nonostante le ampie oscillazioni del potenziale di griglia, e da avere, inoltre, una grande sensibilità di potenza. In un amplificatore in classe A, per **sensibilità di potenza** si intende il rapporto tra la potenza d'uscita ed il segnale di griglia che la produce. I triodi di potenza per l'amplificazione in classe A sono caratterizzati da una bassa sensibilità di potenza, da un basso rendimento di placca, e da una bassa distorsione. I pentodi di potenza invece, sono caratterizzati da un'alta sensibilità di potenza, da un alto rendimento di placca e da una distorsione relativamente bassa. Le valvole di potenza a fascio hanno una sensibilità ed un rendimento di placca superiore a quello dei pentodi convenzionali, così come abbiamo visto a suo tempo.

Adattamento dell'impedenza d'uscita

L'impedenza del dispositivo collegato all'uscita di un amplificatore di potenza a Bassa Frequenza può variare da pochi ohm, come ad esempio la bobina mobile di un altoparlante, a diverse migliaia di ohm, come ad esempio alcuni tipi di cuffia. È pertanto necessario l'impiego di un trasformatore allo scopo di presentare un'impedenza di carico adatta al circuito di placca della valvola finale. Il rapporto di spire di tale trasformatore può essere calcolato mediante la radice quadrata del rapporto tra le impedenze. Ad esempio, se un amplificatore deve avere un'impedenza di carico di 7.600 ohm, e deve provvedere al funzionamento di una serie di cuffie avente un'impedenza totale di 600 ohm, il rapporto tra le spire deve essere pari a $\sqrt{\frac{7.600}{600}}$

Il trasformatore è quindi in discesa, con rapporto di 3,56 : 1.

Valvole finali in parallelo

Uno dei metodi per ottenere una potenza d'uscita maggiore di quella ottenibile con una sola valvola consiste nel collegarne due in parallelo. Si può realizzare ciò, semplicemente collegando tra loro gli elementi simili, ossia la placca con la placca, la griglia con la griglia ed il catodo con il catodo. In questo caso le due valvole si comportano come un'unica valvola con una capacità di corrente pari al doppio di una valvola singola.

Nel calcolo del valore della resistenza di polarizzazione per le valvole in parallelo, è necessario ricordare che la resistenza porta la corrente di entrambe le valvole, per cui il suo valore deve essere la metà di quello necessario per una valvola sola. Anche la possibilità di dissipazione di potenza varia, e deve essere il doppio. Inoltre, dal momento che le due valvole sono in parallelo, la resistenza di placca effettiva, R_p, è la metà (la capacità distribuita, C_d, è il doppio). Perciò, per ottenere il massimo rendimento di potenza, il valore del carico deve essere pari alla metà di quello adatto per una valvola singola.

Amplificatori di potenza in controfase

Un altro sistema per ottenere una potenza maggiore d'uscita che con una sola valvola è stato già da noi esa-

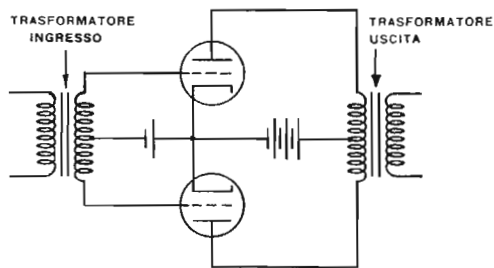



Fig. 13 — Stadio finale in « push-pull » con ingresso e uscita a trasformatore. Il primo trasformatore fornisce il segnale alle griglie con polarità opposta, ed il secondo integra le due uscite in un unico segnale.

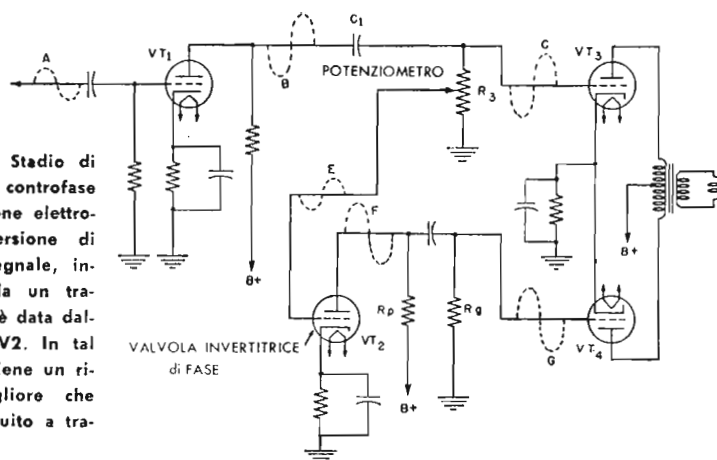



Fig. 14 — Stadio di uscita in controfase con inversione elettronica. L'inversione di fase del segnale, invece che da un trasformatore, è data dalla valvola V2. In tal modo si ottiene un risultato migliore che non col circuito a trasformatore.

minato e consiste nel collegarne due in opposizione di fase o « push-pull », nel qual caso le valvole, come abbiamo visto, possono funzionare in classe A, AB o B a seconda della potenza desiderata. Nel caso di funzionamento in classe B, si usa un triodo di potenza funzionante in classe A per fornire alle griglie il segnale necessario; si preferisce un triodo a causa della sua bassa impedenza di placca.

Il metodo più comune per pilotare un amplificatore a « push-pull » consiste nell'uso di un trasformatore bilanciato con presa centrale, come illustrato nella figura 9-B.

Tale circuito soddisfa l'esigenza che ha ogni valvola di essere pilotata con tensioni di eguale ampiezza ma con sfasamento di 180°. Un pilotaggio di tal genere però può essere egualmente ottenuto, come vedremo tra breve, con un accoppiamento RC mediante un circuito di inversione di fase. Un circuito di stadio a « push-pull » è illustrato alla **figura 13**. Le due griglie sono collegate ai terminali opposti del trasformatore d'entrata: i catodi sono collegati insieme, e la polarizzazione catodica può essere ottenuta collegandoli entrambi a massa attraverso un'unica resistenza così come si è visto per le valvole in parallelo. Le due placche, a loro volta, sono collegate ai terminali opposti dell'avvolgimento primario del trasformatore d'uscita che provvede all'adattamento delle impedenze.

Due valvole collegate in controfase equivalgono a due valvole in serie; pertanto, il primario del trasformatore d'uscita deve avere caratteristiche tali che ogni metà dell'avvolgimento costituisca il carico adatto per ogni singola valvola. Da ciò, la necessità che l'impedenza totale tra i terminali dell'intero avvolgimento, ossia tra placca e placca, sia il doppio dell'impedenza necessaria per una sola valvola.

Dal momento che il trasformatore di ingresso inverte la polarità ad ogni semiperiodo, ogni griglia funziona alternativamente durante una sola metà di ogni ciclo del segnale. La corrente combinata che scorre attraverso il primario è la somma delle correnti separate che scorrono attraverso le due valvole. Tale corrente combinata forma una sinusoide completa ai capi dell'avvolgimento secondario. Come si è detto, in un amplificatore di potenza a Bassa Frequenza, lo stadio finale in controfase può funzionare sia in classe A che in classe AB, che in classe B, con minima distorsione.

Nel caso del « push-pull » in classe A, le due valvole producono una potenza pressochè pari a quella di tre valvole in parallelo; in classe B l'aumento di potenza è anche maggiore. I circuiti in controfase hanno inoltre il grande vantaggio che tutte le eventuali distorsioni armoniche ed il rumore di fondo residuo (ronzio) proveniente dalle cellule filtranti dell'alimentazione anodica, vengono eliminati poichè le correnti che scorrono nelle due metà del primario del trasformatore d'uscita sono eguali e di segno contrario e quindi si annullano reciprocamente. Per il medesimo motivo viene eliminato ogni effetto magnetico nei confronti del nucleo del trasformatore stesso.

Circuiti d'ingresso per controfase con accoppiamento RC

Allo scopo di evitare l'uso di un trasformatore di ingresso e di sfruttare il migliore responso di frequenza che il sistema di accoppiamento RC consente, l'ingresso di un « push-pull » può essere effettuato mediante un circuito invertitore di fase, col quale una valvola singola viene accoppiata all'ingresso di due valvole in controfase. Detto inversore è necessario in quanto i due segnali di ingresso devono essere di ampiezza eguale e di polarità invertita. Se la griglia di una valvola riceve un segnale di ampiezza maggiore di quello ricevuto dall'altra, il segnale d'uscita risulta distorto.

Seguiamo il segnale attraverso l'amplificatore illustrato alla **figura 14**. Notiamo che il segnale rappresentato dalla lettera *A*, viene applicato alla griglia di VT_1, ed appare amplificato ed invertito nel punto *B* del circuito di placca. Il segnale viene poi applicato alla griglia di VT_3 attraverso il condensatore C_1. La resistenza R_3, resistenza di griglia di VT_3 è un potenziometro: il suo cursore viene regolato in modo che il segnale *E* applicato alla griglia di VT_2 abbia la medesima ampiezza del segnale *A*.

È importante notare che il segnale *F* è invertito di fase rispetto ad *E*, per cui sussistono le condizioni necessarie al funzionamento del « push-pull », ossia i segnale *C* e *G* presenti sulle griglie delle valvole finali sono di eguale ampiezza e di fase opposta.

COSTRUZIONE di un VOLTMETRO a VALVOLA

Circuito e montaggio

ANALISI del CIRCUITO

Il voltmetro elettronico modello V-7A è stato realizzato per l'impiego da parte di progettisti, tecnici e riparatori, per l'esecuzione di misure di precisione di valori di tensione in c.c. (negativi e positivi), valori efficaci e di picco di tensione in c.a., nonchè per misure di resistenza.

Le sue caratteristiche sono tali da consentire la rapida misura di tensioni e di resistenze in ogni campo dell'elettronica. Ne risulta quindi vantaggioso l'impiego in un laboratorio nel quale si richiedano misure di una certa precisione.

Lo strumento è stato realizzato in maniera semplice e robusta, tale praticamente, da riunire in una sola unità le prestazioni di molti strumenti.

Come si nota osservando il circuito elettrico di **figura 1**, la sezione di alimentazione non è stabilizzata. Abbiamo infatti appreso alla lezione precedente che ciò non è necessario, specie nei casi in cui il voltmetro a valvola si basa su di un circuito bilanciato. L'alimentazione è prevista per 105-125 volt c.a.: di conseguenza, ove non si disponga di questo valore di tensione di rete, è indispensabile l'uso di un autotrasformatore o trasformatore della potenza di 10-15 watt per adeguare il voltaggio.

La rettificazione della tensione alternata avviene su una sola semionda, ad opera di un rettificatore ad ossido, e la tensione pulsante così ricavata viene livellata da un solo condensatore elettrolitico della capacità di 16 μF.

La tensione anodica è disponibile ai capi di un partitore di tensione del quale fa parte un potenziometro il cui compito verrà tra breve considerato. Il secondario a bassa tensione provvede a fornire la tensione necessaria, (6 volt circa) per le valvole 6AL5 e 12AU7, e per la lampada spia presente sul pannello.

Per ottenere la massima sensibilità e stabilità di funzionamento, il voltmetro impiega circuiti a valvola per tutti i tipi di misure che esso consente di effettuare.

Lo strumento indicatore, avente una sensibilità di 200 microampère a fondo scala, è inserito nel circuito di catodo del doppio triodo 12AU7. Il controllo dell'indicazione di « zero » (« zero adjust »), costituito da un potenziometro da 10 kohm posto tra i due catodi della stessa valvola, stabilisce il bilanciamento tra le correnti anodiche dei due triodi in essa contenuti, in modo che — allorchè nessuna tensione viene applicata alla griglia controllo (piedino N. 2) — la caduta di tensione presente ai capi delle due parti del potenziometro (ossia ai lati del cursore), è eguale. In queste condizioni si ha l'azzeramento del ponte formato dai due triodi e dalle rispettive resistenze catodiche, per cui lo strumento indica zero. Quando invece alla griglia controllo viene applicata una tensione, il ponte perde immediatamente le condizioni di equilibrio, e lo strumento dà una certa indicazione.

Si tratta, in sostanza, di un circuito basato sul principio illustrato nelle figure 5 (A e B) e 6, a pag. 421 e 422.

La relazione che intercorre tra la tensione applicata alla griglia controllo e l'indicazione dello strumento è lineare: in altre parole, una data tensione di ingresso provoca una determinata deviazione dell'indice, ed una tensione doppia provoca una deviazione doppia. Di conseguenza anche la scala dello strumento ha un andamento lineare.

Il vantaggio offerto da una misura effettuata con uno strumento di questo tipo è che la tensione incognita non viene applicata direttamente allo strumento, bensì all'ingresso di un circuito a valvola. Dal momento che il valore della relativa corrente anodica è contenuto entro certi limiti, l'equipaggio mobile dello strumento stesso resta automaticamente protetto contro eventuali sovraccarichi.

La massima tensione di ingresso che può essere applicata ad uno dei triodi della 12AU7 è di circa 3 volt. Tutte le eventuali tensioni di valore superiore vengono ridotte mediante un partitore, che funge da attenuatore di ingresso (e che, abbinato ad altre sezioni, costituisce il commutatore di portata), la cui resistenza complessiva ammonta a 11 Megaohm.

Allo scopo di non caricare gli eventuali circuiti a radiofrequenza sui quali si effettuano le misure, nel puntale « DC » (= c.c.) è incorporata una resistenza addizionale del valore di 1 Mohm. Per misure in C.A., viene impiegato un doppio diodo del tipo 6AL5 in un circuito di rettificazione di due semionde; tale diodo fornisce una c.c. di intensità proporzionale all'ampiezza della tensione alternata applicata.

Essa costituisce il segnale di ingresso della 12AU7 alla quale perviene attraverso il partitore di ingresso. Lo strumento indica il passaggio di corrente, nel modo precedentemente descritto.

Le scale adatte alle misure in C.A. sono tarate sia in valori efficaci che in valori di picco. Nelle portate 1,5 - 5 - 15 e 150 volt, tutta la tensione a C.A. da misurare viene applicata all'ingresso della valvola raddrizzatrice a due semionde 6AL5. Per contro, nelle posizioni 500 e 1.500 volt, un apposito partitore riduce detta tensione di ingresso ad un valore di sicurezza adatto alle caratteristiche della valvola.

Fig. 1 — Circuito elettrico del voltmetro a valvola mod. V-7A. Il circuito è del tipo a ponte, ossia bilanciato. In assenza di segnale sulla griglia sussiste l'azzeramento ottenuto a mezzo dei potenziometri di taratura. Qualsiasi tensione applicata alla griglia turba l'equilibrio del ponte e determina una d.d.p. tra i catodi dei due triodi. Tale d.d.p. è indicata dallo strumento.

Caratteristiche generali:

7 portate per misura di tensioni continue: 1,5 - 5 - 15 - 50 - 150 - 500 - 1.500 volt fondo scala. (In queste portate è possibile la inversione di polarità internamente allo strumento). La portata massima può essere estesa a 30.000 volt con sonda esterna.

Sensibilità: 7.333.333 ohm/volt.

Circuito: bilanciato.

Precisione: ± 3% fondo scala.

7 portate per misura di tensioni alternate in valore efficace: 1,5 - 5 - 15 - 50 - 150 - 500 - 1.500 volt fondo scala.

Responso alla frequenza: fino a 7,2 MHz su 600 ohm).

Precisione: ± 5% fondo scala.

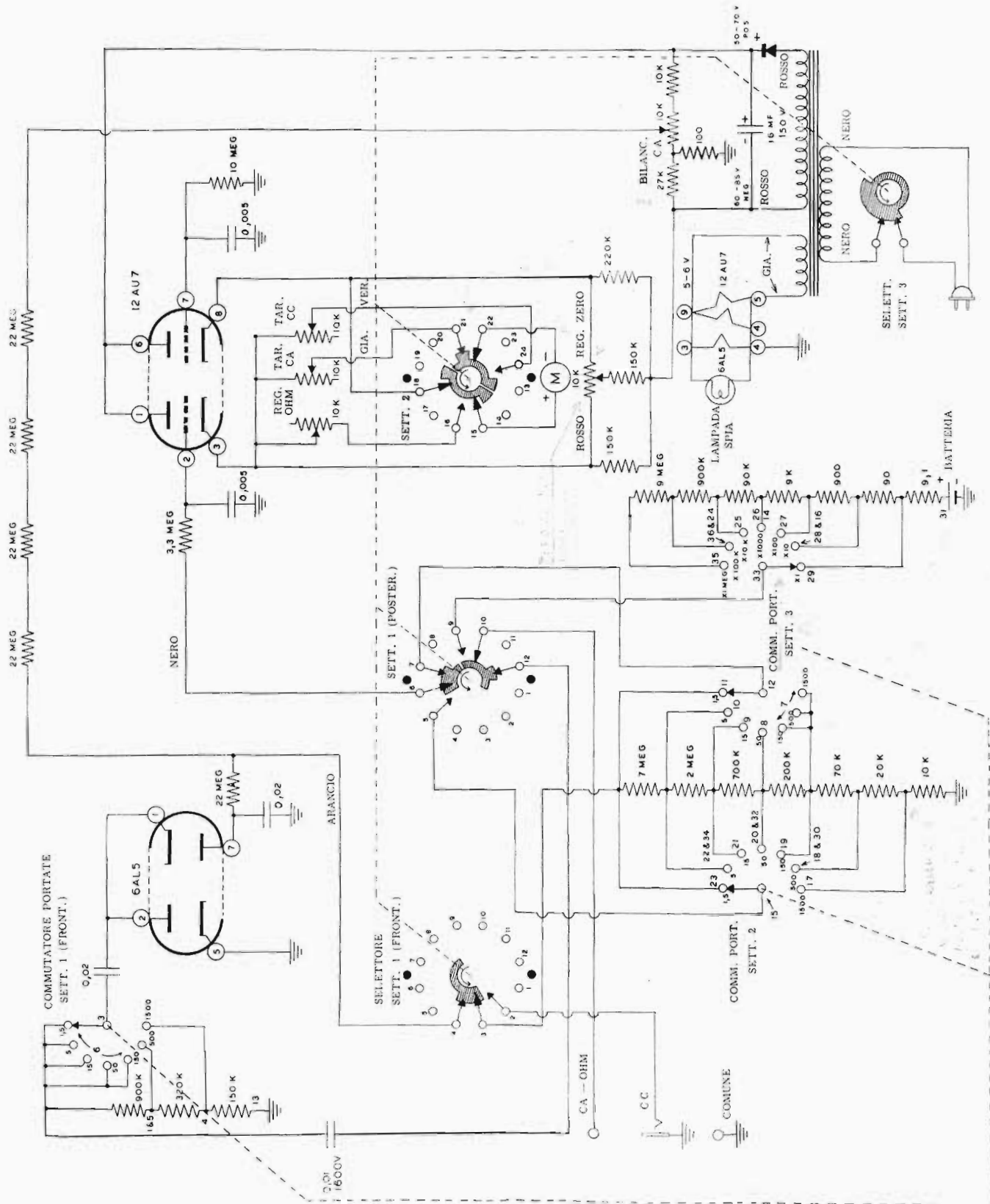
7 portate per misura di tensioni alternate in valore di picco: 4 - 14 - 40 - 140 - 400 - 1.400 - 4.000 volt fondo scala.

7 portate ohmetriche: ×1 - ×10 - ×100 - ×1.000 - ×10.000 - ×100.000 - ×1.000.000.

Strumento: 200 microampère f. s.

Valvole: 12AU7 - 6AL5.

Batteria: 1,5 volt a torcia.

Alimentazione: 105-125 volt - 50-60 Hz - 10 watt.

In normali condizioni di impiego, non è possibile applicare alla 6AL5 tensioni superiori a 150 volt. Le caratteristiche di progettazione del voltmetro proteggono ulteriormente la valvola ed i suoi circuiti associati.

Si noti a tale proposito che se — sia pure accidentalmente — si misura una tensione superiore a 400 volt allorchè il commutatore di portata è in posizione « 150 volt », la valvola 6AL5 si deteriora irrimediabilmente.

Quando si effettua una misura, come è stato detto alla lezione teorica sui voltmetri a valvola, è sempre necessario iniziare con la portata più alta, e scendere mano a mano finchè la deviazione dell'indice sia tale da consentire una lettura comoda ed esatta: questo, a meno che l'ammontare della tensione di misura non sia già noto con buona approssimazione.

Il comando di taratura per C.A. (« A.C. calibrate ») viene usato per ottenere una deflessione dell'indice dello strumento esatta, in rapporto al valore della tensione a C.A. applicata. Come è noto, le valvole sviluppano tra gli elettrodi un potenziale di contatto: tale potenziale, presente anche nel diodo, determina la presenza costante di una leggera tensione. Detta tensione viene bilanciata applicando una seconda tensione, di polarità opposta, di « neutralizzazione »; l'entità relativa è stabilita dal comando di bilanciamento della C.A. (il potenziometro che abbiamo visto far parte del divisore di tensione presente all'uscita del circuito di alimentazione). Essa evita lo spostamento dello zero allorchè si commuta da C.C. a C.A.

Abbiamo visto nella lezione precedente come sia possibile abbinare ad un voltmetro elettronico un circuito ohmetrico; lo strumento che quì descriviamo consente anche la misura di resistenze entro una gamma molto ampia, e cioè da un minimo di 0,1 ohm, ad un massimo di 1.000 Mohm. A tale scopo viene collegata una batteria da 1,5 volt attraverso una catena di moltiplicatori e la resistenza di valore incognito. Ai capi della batteria viene così a formarsi un partitore di tensione; solo una parte di tensione viene applicata al doppio triodo.

Per questo particolare tipo di misura, lo strumento è provvisto di una scala apposita tarata direttamente in ohm, avente il valore « 10 » al centro.

REALIZZAZIONE

Il lettore non è nuovo alla realizzazione di apparecchiature disponibili sotto forma di scatole di montaggio, per cui, anche in questo caso, valgono tutte le considerazioni enunciate per i montaggi precedenti.

Innanzitutto questo strumento, così come viene posto in commercio, è caratterizzato dalla presenza di un circuito stampato. Già in altra occasione abbiamo citato questo sistema di cablaggio, ed il lettore che vorrà realizzare il voltmetro quì descritto non potrà non constatare quanto pratica e razionale sia questa applicazione. La tecnica dei circuiti stampati — tra l'altro — sarà a suo tempo oggetto di una dettagliata lezione.

I vari componenti da fissare alla basetta a circuito stampato (vedi **figura 2**) sono provvisti di terminali che andranno inseriti nei fori relativi, dopo di che si provvederà ad effettuare la saldatura tra il terminale stesso ed il sottile strato di rame depositato sulla basetta isolante. Una volta effettuate tutte le saldature, non rimarrà che tagliare la parte in eccesso di ogni singolo terminale, senza però compromettere la robustezza delle saldature, mediante l'aiuto di un buon tronchesino.

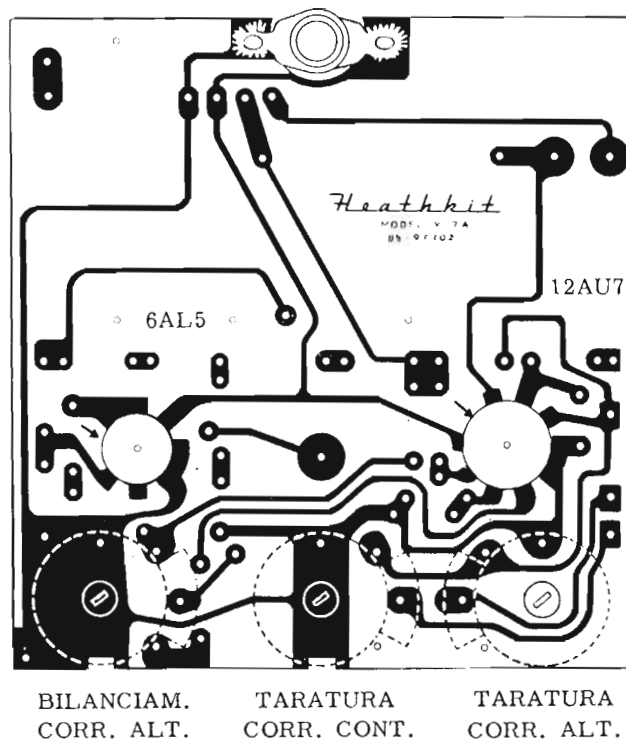



Fig. 2 — Aspetto della basetta a circuito stampato, vista dal lato dei collegamenti. In cerchi tratteggiati sono indicate le posizioni dei tre potenziometri di taratura. I terminali dei vari componenti devono essere inseriti nei fori visibili nelle zone nere, e fissati mediante saldatura. Viene montata su un apposito supporto.

Sappia, chi intende effettuare questa realizzazione, che la massima parte del buon esito dipende da come le saldature vengono effettuate. I contatti tra i singoli componenti devono essere assolutamente sicuri, e devono offrire la minima resistenza. Sarà bene non abbondare eccessivamente nella quantità di stagno, ed assicurarsi che la lega fusa si distribuisca bene sulle superfici interessate, dopo di che, prima di provare con la trazione la resistenza meccanica della saldatura, si attenderà che lo stagno depositato si sia perfettamente solidificato.

È indispensabile usare una lega al 40/60, e la migliore soluzione consiste nell'adottare lo stagno preparato, con anima in resina. Il saldatore da usare potrà essere da 50 watt, con punta sottile.

IL MONTAGGIO MECCANICO

Innanzitutto, prima ancora di iniziare il montaggio del pannello, è opportuno distendere sul banco di lavoro un panno. Ciò eviterà che, durante gli inevitabili spostamenti che il pannello stesso dovrà subire nelle varie operazioni — si verifichino sulla sua superficie delle abrasioni che ne deturperebbero l'estetica.

L'aspetto delle varie parti meccaniche (chassis, pannello, mobiletto, ecc.) è tale da non dare adito a dubbi circa la relativa posizione. I vari comandi, ossia i commutatori, potenziometri, ecc., potranno essere senz'altro fissati al loro posto, salvo l'opportunità in seguito di toglierli provvisoriamente per effettuare qualche saldatura.

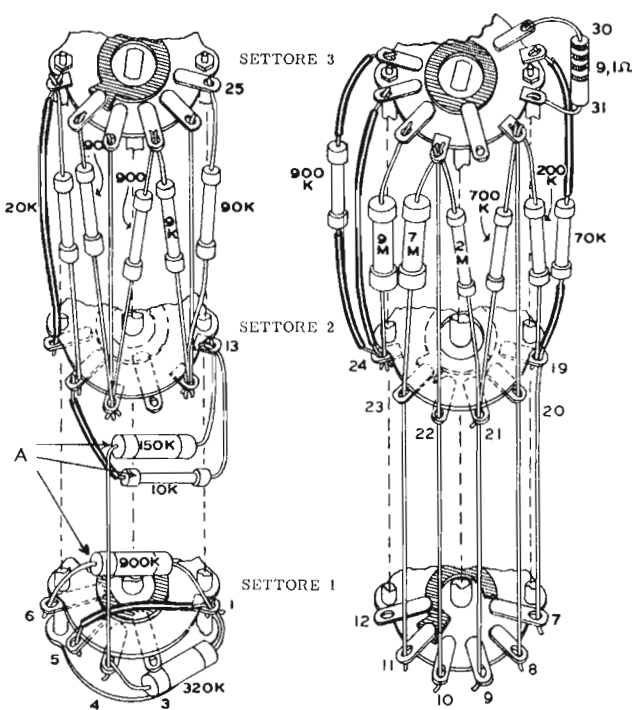



Fig. 3 — Disegno rappresentante il commutatore di portata. Sono visibili i tre settori, e le posizioni delle varie resistenze: le resistenze contrassegnate con « A » devono essere sistemate in modo tale da non creare attrito con l'albero rotante.

Osservando il pannello anteriormente, si noterà che al di sotto dello strumento si trovano: a sinistra, il controllo di regolazione dello zero (potenziometro da 10 kohm), e a destra, il controllo di azzeramento dell'ohmetro (anch'esso da 10 kohm). Più in basso abbiamo: a sinistra, il selettore dei vari circuiti, al quale è abbinato l'interruttore di accensione. Si tratta di un commutatore facilmente riconoscibile, in quanto l'albero di comando può assumere 5 posizioni a scatto, ed il tutto è costituito da tre settori uno dei quali, e precisamente il più vicino alla piastrina metallica di supporto, doppio. Immediatamente alla sua destra, viene installato il commutatore delle portate, simile al precedente, ma di lunghezza maggiore. Esso inoltre può assumere 7 posizioni a scatti e consta anch'esso di tre settori.

Le figure che completano la presente descrizione, potranno, previo un attento esame, essere di guida per il fissaggio delle varie parti meccaniche, nonchè per riconoscere l'orientamento degli zoccoli delle valvole, degli stessi commutatori, e di tutti gli altri componenti che devono essere installati prima di completare i vari circuiti.

Tutte le viti ed i relativi dadi dovranno essere strette a fondo, ed in modo particolare quelle cui fanno capo i collegamenti di massa.

Una volta allestito — per così dire — il telaio che supporta l'intero strumento, si può iniziare ad effettuare i collegamenti elettrici.

IL MONTAGGIO ELETTRICO

Cablaggio del commutatore di portata. Quest'organo, che, praticamente costituisce il « cuore » dell'intero strumento, può essere convenientemente montato a parte, come unità a sè stante. La **figura 3** illustra la disposizione relativa dei vari settori, nonchè quella dei vari componenti annessi.

Nel montaggio delle varie resistenze, è buona norma fare in modo che i valori eventualmente stampigliati sul corpo siano sempre rivolti verso l'esterno. In tal modo, a montaggio ultimato, sarà più facile effettuare un controllo accurato prima di procedere al collaudo ed alla messa a punto.

Si tenga presente che il commutatore è un organo che, per quanto robusto, deve tuttavia essere trattato con la massima delicatezza, onde non compromettere la sicurezza dei contatti mobili. Le linguette alle quali fanno capo le diverse resistenze non devono essere piegate violentemente, nè sottoposte a forte trazione. I settori devono essere perfettamente allineati tra loro, e ciò è facilmente constatabile controllando che, allorchè in uno dei settori il contatto scorrevole è centrato rispetto al contatto fisso corrispondente, tale corrispondenza sussista anche negli altri settori. In caso contrario una leggera torsione, alla quale farà seguito un controllo del serraggio dei prigionieri, sarà sufficiente a porre rimedio all'inconveniente.

Una volta applicate al commutatore tutte le resistenze costituenti il controllo di portata, l'intero complesso potrà essere fissato al pannello.

Montaggio del pannello: il pannello, grazie alla sua rigidità, agisce da supporto dell'intero apparecchio. Prima di procedere alla posa dei vari collegamenti, è opportuno preparare il circuito stampato, illustrato in **figura 4.** In essa sono visibili i vari componenti distribuiti sulla piastrina isolante, ed i tre potenziometri di taratura (bilanciamento C.A., taratura C.C. e taratura C.A.).

La **figura 5** illustra la basetta interamente montata; sarà facile al lettore riconoscere i vari componenti e le relative posizioni. La valvola più piccola, ossia il doppio diodo 6AL5, è visibile a sinistra, ed il doppio triodo 12AU7 è invece visibile a destra. Nell'angolo a destra è installato il rettificatore ad ossido (blocchetto nero). Tra le due valvole si scorge la batteria da 1,5 volt, che deve essere inserita col polo positivo nella calotta, ed il polo negativo contro la molla di pressione.

La posizione del trasformatore di alimentazione è anch'essa individuabile osservando la figura 5. Inoltre, la **figura 6** è un disegno schematico dell'intero pannello, con tutti i suoi componenti. Per semplicità sono stati omessi in questa figura alcuni collegamenti. In ogni modo, una volta installati i vari organi al loro posto, il circuito elettrico deve essere — in linea di massima — l'unica guida vera e propria per effettuare il montaggio elettrico.

Il rettificatore al selenio deve essere montato sulla basetta a circuito stampato nel modo indicato in figura 6, ossia sul lato posteriore, con i terminali sporgenti attraverso le aperture predisposte. Detti terminali devono essere ripiegati e saldati ai collegamenti relativi sulla basetta stessa. Si noterà che uno di detti terminali sporge al di fuori del bordo. Esso deve in seguito essere tagliato in modo che non sporga più; ciò costituisce un particolare di notevole importanza in quanto, in caso contrario, può verificarsi un cortocircuito verso massa una volta introdotto l'apparecchio montato nella sua custodia metallica.

Il trasformatore di alimentazione deve anch'esso essere montato sulla basetta a circuito stampato, nel modo indicato in figura 4. Il fianco dal quale sporgono i quattro terminali dei due secondari deve essere all'interno, mentre i terminali del primario, (entrambi rivestiti di materiale isolante nero) devono trovarsi verso l'esterno.

La vite più vicina allo zoccolo della valvola 6AL5 viene inserita dal lato della basetta sul quale sono stampati i collegamenti. Ciò allo scopo di assicurare uno spazio sufficiente all'alloggiamento per lo strumento indicatore, quando la basetta stessa viene applicata al telaio.

Ovviamente, chi effettua il montaggio potrà avvantaggiarsi delle figure riportate; tuttavia è sempre indispensabile controllare con molta cura che ogni collegamento corrisponda esattamente al circuito elettrico riportato in figura 1. Questo controllo renderà evidente un eventuale errore nell'orientamento di uno degli organi. Infatti, in fase di progetto, la disposizione di ogni singolo componente è stata studiata in modo da consentire collegamenti di lunghezza minima, al fine di evitare resistenze e capacità o induttanze parassite.

Nella figura 6 sono visibili anche le posizioni delle tre boccole separate, alle quali deve essere collegato il puntale a seconda che si effettui una misura in C.A., in C.C. o di resistenza.

Nella figura citata è visibile anche il cavo multiplo che allaccia il pannello al circuito elettronico vero e proprio. Le indicazioni dei colori devono essere rigorosamente rispettate onde evitare errori.

Nei circuiti in cui le esigenze di isolamento sono di un certo rigore, è necessario che i conduttori dei collegamenti oltre che già isolati di per se stessi, siano ricoperti di tubetto sterlingato, il quale deve coprire, in quei casi, tutta la lunghezza del collegamento. Tale norma dovrà essere adottata nei collegamenti interessanti la sezione del pannello, per evitare qualsiasi possibilità di arco tra due conduttori o tra un conduttore e parti metalliche.

L'ultimo organo che deve essere montato sul pannello è lo strumento propriamente detto. Prima di ciò, è necessario togliere le linguette per la saldatura dei terminali. Evitare la rotazione della vite prigioniera, e serrare la linguetta, dopo la saldatura, tra il dado ed il controdado di ognuno dei due poli.

La **figura 7** illustra l'apparecchio, completamente montato, visto dal di dietro.

La **figura 8** illustra il gioco di contatti che si verifica nei tre settori del selettore, relativo alle posizioni « CC+ », « CC — » ed « OHMS ». I numeri di riferimento, riportati anche sullo schema, sono utili per evitare errori nei collegamenti.

Un particolare della massima importanza, una volta terminato il collegamento elettrico tra i vari organi, è l'inserimento delle valvole nel relativo portavalvola. Le valvole miniatura, sono — come è facile osservare — completamente prive di zoccolo. I piedini di collegamento escono infatti direttamente dal bulbo di vetro. Se ciò ne diminuisce le dimensioni totali di ingombro, ne aumenta per contro la delicatezza. Nell'inserirle è quindi indispensabile avere la massima cautela, e tener conto della posizione obbligata dei piedini. Uno sforzo eccessivo può causare la rottura anche superficiale del vetro, ed immettere

Fig. 4 — Aspetto della basetta a circuiti stampati, dopo il montaggio dei vari componenti. I colori dei vari conduttori uscenti dal cavo multiplo sono indicati con sigle: devono essere rigorosamente rispettati onde evitare inversioni che impedirebbero il funzionamento dell'intero strumento. Si noti la posizione dei portavalvola.

aria all'interno. In questa eventualità, la valvola sarebbe inevitabilmente deteriorata.

Dopo aver ultimato tutte le operazioni che quì sono riassunte, e che sono elencate molto più dettagliatamente nelle istruzioni che accompagnano la scatola di montaggio nella sua versione commerciale, si può procedere alla preparazione dei puntali di prova.

PREPARAZIONE dei PUNTALI

Puntale comune: il puntale comune viene preparato connettendo la banana nera ad un capo del filo nero, ed una

Fig. 5 — Aspetto dello chassis contenente il circuito elettronico. In esso è alloggiato il circuito stampato. Sono visibili le valvole, la batteria, il trasformatore di alimentazione ed il raddrizzatore. Terminato il montaggio, viene fissato posteriormente al pannello.

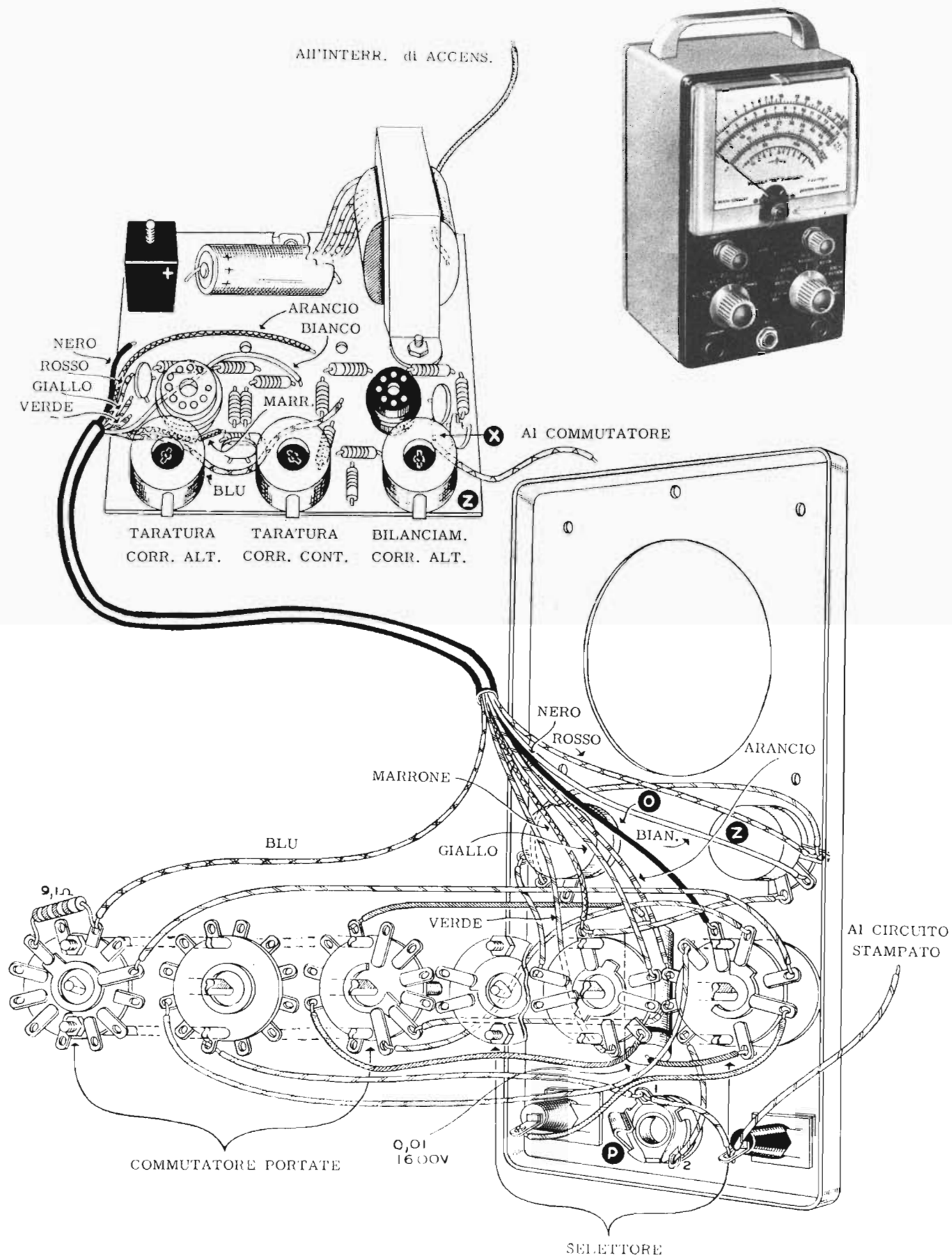



Fig. 6 — Disegno schematico del pannello visto posteriormente. Sono visibili i vari comandi, ed i commutatori (selettore e di portata) in rappresentazione « esplosa ». Il cavo multiplo flessibile allaccia il pannello al circuito elettronico montato sulla basetta a circuito stampato. In alto, a destra, è visibile l'apparecchio finito, nel suo aspetto commerciale.

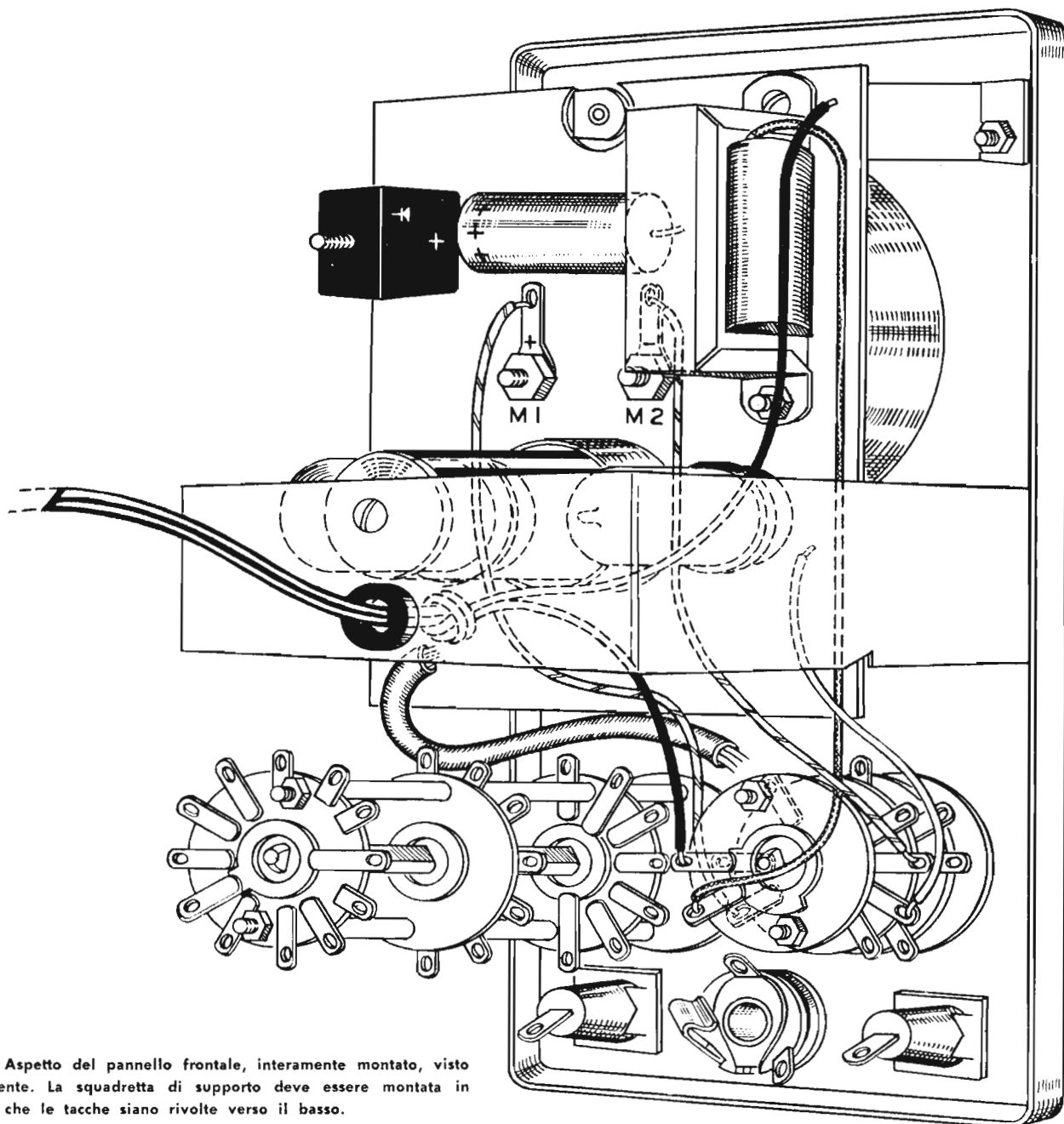



Fig. 7 — Aspetto del pannello frontale, interamente montato, visto posteriormente. La squadretta di supporto deve essere montata in modo tale che le tacche siano rivolte verso il basso.

« pinza a coccodrillo » al capo opposto. La **figura 9 A** indica i particolari. La banana viene a sua volta preparata denudando per qualche millimetro il capo del filo flessibile, ed inserendo la parte nuda nella parte posteriore del corpo metallico della banana stessa. Prima di compiere questa operazione, è bene stagnare l'estremità del cavo da introdurre, onde aumentarne la rigidità. Il filo viene quindi fissato stringendo a fondo l'apposita vite, dopo di che si può rimettere a posto l'impugnatura isolata.

Questo puntale deve sempre essere collegato a massa nell'apparecchiatura in cui si effettuano le misure.

Puntale C.C. Il puntale c.c. viene preparato connettendo la spina per cuffia (del tipo a « jack ») ad un capo del filo schermato. Il filo interno fa capo alla punta della spina, mentre la calza schermata deve essere saldata al terminale del corpo cilindrico della spina stessa. All'altro capo si salda una resistenza da 1 Mohm, che viene poi inserita nel puntale nero, come illustrato nella figura 9 **B**. È della massima importanza che detta calza metallica non tocchi nè la resistenza, nè la saldatura. Essa non deve essere collegata a nulla all'interno del puntale, in quanto, come collegamento di massa agli effetti della schermatura, è sufficiente il collegamento nella spina a « jack » all'altro capo. Una volta effettuate tutte le saldature, non rimane che inserire l'impugnatura isolante del puntale, senza applicare alcun isolamento a base di nastro adesivo o altro. Ciò potrebbe apportare dispersioni tra la calza e la resistenza, compromettendo l'esattezza delle letture.

Puntale C.A. e OHM: questo puntale viene preparato analogamente ai precedenti, connettendo la banana rossa ad un capo del filo flessibile rosso, ed il puntale rosso al capo opposto, come indicato nella figura 9 **C**.

Quest'ultima serie di operazioni completa il montaggio vero e proprio. Una volta fissata la maniglia al mobiletto metallico, non resta che provvedere ad un accurato con-

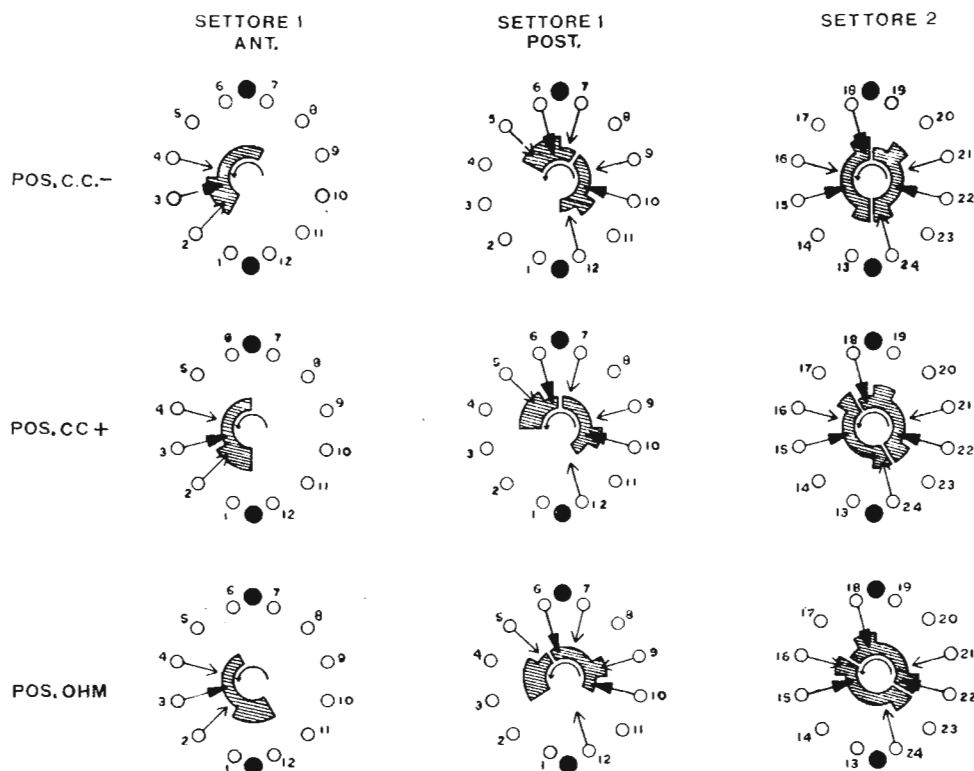



Fig. 8 — Schema dei settori del selettore. Sono rappresentate le tre posizioni relative alle tre possibilità di impiego. I numeri di riferimento ai vari contatti, riportati anche sullo schema elettrico, faciliteranno notevolmente il lavoro di montaggio.

trollo di tutto il circuito. Verificare, innanzitutto, che non vi siano cortocircuiti sull'alimentazione, che non vi siano inversioni di collegamento sul trasformatore di alimentazione, e che tutte le saldature siano state effettuate a regola d'arte.

Il controllo del circuito, seguendo sullo schema elettrico tutti i collegamenti effettuati e verificandoli sull'apparecchio costruito, può essere fatto con l'aiuto di un ohmetro, mediante il quale, oltre a controllare che le varie resistenze siano effettivamente quelle relative alle varie posizioni, è possibile controllare eventuali mancanze di isolamento, e la continuità di ogni singolo collegamento.

Il lettore non si stanchi di effettuare questo controllo, che — specie nel caso che ciò costituisca la sua prima esperienza di montaggio complesso — gli eviterà certamente laboriose ricerche in seguito. Le operazioni di messa a punto e collaudo sono oggetto della lezione successiva.

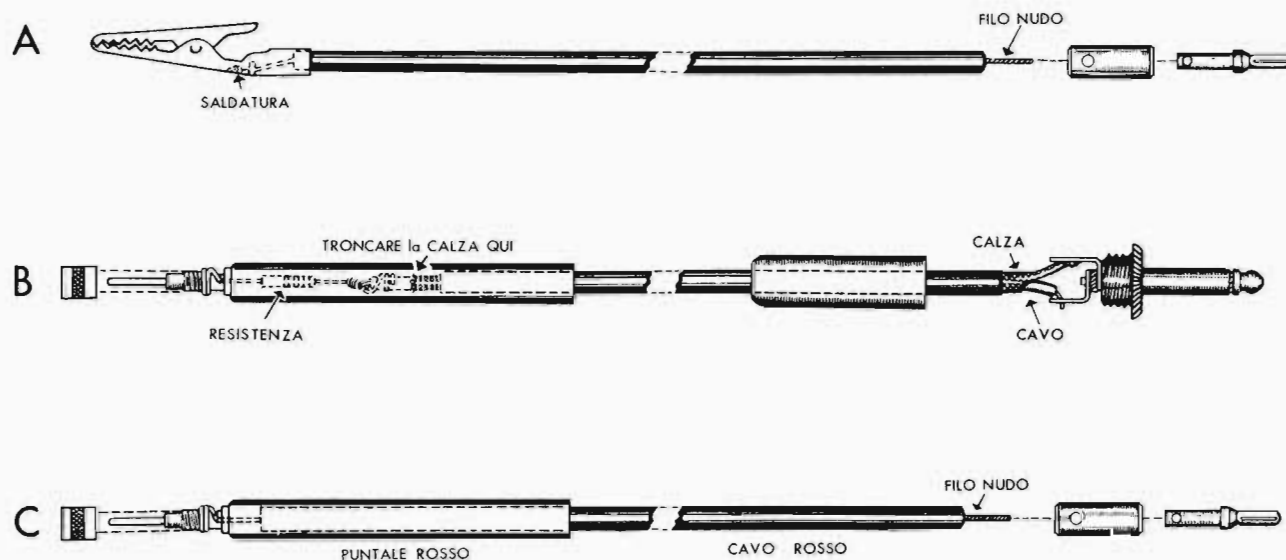



Fig. 9 — Montaggio dei puntali di prova: in A è rappresentato il puntale comune, provvisto da un lato di una comune banana, e dall'altro di una pinza a « coccodrillo » per il collegamento alla massa metallica dell'apparecchio su cui si effettuano le misure. In B è rappresentato il puntale nero, provvisto di un cavetto schermato. La spina è del tipo telefonico a « jack » bipolare, ed è indicata la posizione del contatto corrispondente alla calza metallica (massa). Internamente al puntale è montata una resistenza da 1 Mohm, che deve essere assolutamente isolata dalla massa. In C è rappresentato il puntale rosso (per corrente alternata e resistenze).

DOMANDE sulle LEZIONI 55ª e 56ª

N. 1 —
Cosa si usa per inviare all'ingresso di uno stadio il segnale uscente da un altro stadio?

N. 2 —
In cosa consiste un accoppiamento del tipo RC?

N. 3 —
In cosa consiste il responso alla frequenza in uno stadio di amplificazione, o in un intero amplificatore?

N. 4 —
Quali sono le cause che determinano una diminuzione del responso nei confronti delle frequenze più elevate?

N. 5 —
Quali sono le cause che determinano una diminuzione del responso nei confronti delle frequenze più basse?

N. 6 —
In uno stadio del tipo RC, come deve essere il valore della resistenza di carico per ottenere in uscita segnali di massima ampiezza?

N. 7 —
In cosa consiste uno stadio ad accoppiamento LC?

N. 8 —
Qual'è la differenza che intercorre tra il responso alla frequenza di un amplificatore con accoppiamento RC, e quello di un amplificatore con accoppiamento a trasformatore?

N. 9—
Qual'è la caratteristica che distingue l'accoppiamento diretto?

N. 10 —
Per quale motivo con l'accoppiamento diretto si ottiene una maggiore linearità di responso alla frequenza?

N. 11 —
Per quale motivo, nel funzionamento in classe AB_2 ed in classe B la resistenza ohmica del circuito di griglia deve essere di valore basso?

N. 12 —
Quali sono i componenti che consentono di distinguere uno stadio di amplificazione in Alta Frequenza da uno stadio di amplificazione in Bassa Frequenza?

N. 13 —
Cosa si intende per « tempo di transito »?

N. 14 —
Come è possibile diminuire il tempo di transito?

N. 15 —
In quale modo viene calcolato il guadagno totale di un amplificatore in dB, conoscendo il guadagno sempre in dB — dei singoli stadi?

N. 16 —
Quanti e quali sono i tipi di distorsione?

N. 17 —
Per quale motivo un voltmetro a valvola deve essere in grado di misurare tensioni continue sia positive che negative?

N. 18 —
Se i due triodi della valvola 12AU7 impiegata nel voltmetro a valvola descritto nella lezione 56ª non sono tra loro assolutamente identici, come è possibile ottenere l'indicazione di « zero » in assenza di segnale di ingresso?

RISPOSTE alle DOMANDE di Pag. 425

N. 1 — La resistenza di carico di uno stadio amplificatore di tensione deve poter consentire la massima tensione di uscita con la minima distorsione.

N. 2 — Da uno stadio finale di potenza si desidera ottenere la massima potenza di uscita con la minima distorsione.

N. 3 — L'impedenza di carico di un triodo deve essere pari a due o tre volte la resistenza dinamica di placca, in quanto la distorsione è in tal caso minore.

N. 4 — L'impedenza di carico di un pentodo non può — generalmente — superare un valore pari ad un decimo della resistenza dinamica di placca, onde non incorrere in eccessiva distorsione.

N. 5 — La classe A, in quanto — in tal caso — le due semionde di un segnale sinusoidale vengono amplificate in modo molto uniforme, poichè il funzionamento avviene lungo il tratto rettilineo della curva caratteristica.

N. 6 — Il rendimento di uno stadio di potenza equivale al rapporto tra la potenza di uscita e quella dissipata per l'alimentazione.

N. 7 — La tensione di polarizzazione è tale da portare la valvola quasi al punto di interdizione (corrente anodica prossima a zero).

N. 8 — Perchè l'energia al circuito di placca viene fornita durante una frazione di ciclo del segnale di ingresso durante il quale la tensione di placca è minima. La corrente anodica scorre dunque solo durante una parte del segnale.

N. 9 — Dalla linearità della curva caratteristica dinamica.

N. 10 — In classe A al 20%; in classe AB al 40%; in classe B dal 50 al 60%, ed in classe C dal 75 all'80%.

N. 11 — Nei confronti del funzionamento con uno stadio singolo, lo stadio in controfase consente una distorsione minore in quanto la linearità della caratteristica dinamica è maggiore. Il segnale di griglia può inoltre avere una ampiezza proporzionalmente maggiore.

N. 12 — Nel circuito di impiego di una valvola termoionica, e_g, e_c, i_b ed e_{RC} sono in fase tra loro, ma tutti detti valori sono sfasati di 180° rispetto ad e_b.

N. 13 — La tensione di polarizzazione nel sistema detto « per dispersione di griglia » proviene dalla stessa tensione del segnale di ingresso.

N. 14 — Il voltmetro a valvola presenta, nei confronti del circuito sul quale viene effettuata la misura, una resistenza interna notevolmente più elevata. Inoltre, grazie al sistema di rettificazione del segnale, viene a mancare la capacità interna del rettificatore ad ossido. Per questo motivo può funzionare su una vastissima gamma di frequenze. A ciò occorre aggiungere che il voltmetro a valvola può avere una sensibilità molto maggiore.

N. 15 — La sonda, o « probe », è un dispositivo mediante il quale è possibile effettuare misure in vari punti di un circuito. Essa contiene un circuito che isola il voltmetro a valvola dal circuito sotto prova, pur consentendo la misura di una tensione. A volte contiene anche un elemento rettificatore.

COSTRUZIONE di un VOLTMETRO a VALVOLA
messa a punto e impiego

Prove preliminari

Uno dei maggiori vantaggi della scatola di montaggio risiede nel fatto che, colui che ne effettua la realizzazione, acquista una conoscenza del circuito tale da renderlo indipendente in ogni eventualità.

Le operazioni di messa a punto e di collaudo, effettuate sulla scorta delle istruzioni quì elencate, non presentano alcuna difficoltà, e potranno essere ripetute saltuariamente, sia a titolo di semplice controllo, sia per ottenere una maggiore precisione.

Dopo aver effettuato il montaggio meccanico ed elettrico, e dopo aver accuratamente controllato il lavoro eseguito, come illustrato nella lezione precedente, si può senz'altro procedere al collaudo dello strumento. Per questa operazione è necessario disporre di un « tester ».

Innanzitutto, prima di inserire le valvole al loro posto, è opportuno collegare il cordone rete ad una sorgente di tensione alternata a 110 volt, 50 Hz. Ciò fatto, si può portare il selettore su una posizione diversa da « off » (« spento »), ossia in una qualsiasi delle altre. Mentre si compie tale operazione, è bene controllare che nessun rumore si verifichi internamente allo strumento, e che non si manifestino scariche o scintille. Se tutto è in ordine, col « tester » in posizione « CA », nella portata 250 volt, si controllerà la tensione alternata erogata dal secondario ad alta tensione del trasformatore di alimentazione: il valore deve essere di circa 130 volt tra i due terminali rossi. In seguito, con la portata 10 volt, si controlla che le tensioni presenti tra i piedini 3 e 4 della 6AL5 e tra le coppie di piedini 9-4 e 9-5 della 12AU7, siano entrambe di circa 6 volt. Si controlli anche che la lampada spia presente sul pannello, (che in questa fase può già essere al suo posto), si accenda regolarmente. Immediatamente dopo, ponendo il « tester » in posizione « Volt cc », si controllino le tensioni verso massa presenti ai capi del condensatore elettrolitico da 16 μF. Il lato positivo devé avere una tensione verso massa pari a 65 volt circa (tensione positiva). Il lato negativo deve invece presentare — sempre verso massa, ossia verso lo chassis dell'apparecchio — una tensione negativa di circa 70 volt.

Tutte le operazioni successive vengono qui descritte col presupposto che le precedenti misure abbiano dato esito soddisfacente. In qualsiasi caso si presenti una discordanza, è necessario staccare immediatamente l'apparecchio dalla tensione di alimentazione, e cercare la causa controllando ancora una volta il circuito.

A questo punto si possono inserire le due valvole nei rispettivi zoccoli, riaccendere l'apparecchio, e controllare che l'accensione dei catodi, visibile attraverso il bulbo, sia normale. Dopo circa 30 secondi, tempo nel quale detti catodi raggiungeranno la normale temperatura di funzionamento, si porti la manopola del selettore sulla posizione « DC + » o « DC — », ed il commutatore di portata sul valore di 1,5 volt. In queste condizioni, agendo sul comando « ZERO ADJUST » (azzeramento), l'indice dello strumento deve spostarsi per un certo tratto della scala, intorno allo zero.

Controllare anche che nessuna delle resistenze si scaldi eccessivamente, e che in nessun punto del circuito elettrico si manifestino scariche.

Ciò fatto, è opportuno spegnere l'apparecchio, ed effettuare la regolazione meccanica dello zero. A tale scopo, con lo strumento in posizione di lavoro (verticale), si ruoti lentamente la vite con testa di plastica presente sotto al vetro dello strumento stesso, in un senso o nell'altro, finchè l'indice si trova esattamente in corrispondenza dello zero di tutte e quattro le scale superiori.

Messa a punto

La vera e propria taratura dello strumento deve essere eseguita in due tempi: in altre parole, si effettua una taratura provvisoria, dopo di che si sottopone l'intero strumento ad un periodo detto « di invecchiamento ». Si tratta di tenerlo in funzione ininterrottamente per almeno 48 ore, onde consentire una certa stabilizzazione delle caratteristiche elettriche dei vari componenti, ed in particolar modo delle valvole. Infine, si ripetono tutte le operazioni della prima taratura, e, salvo la necessità di ripeterla di tanto in tanto, lo strumento viene così a trovarsi nelle condizioni ideali per funzionare regolarmente.

Taratura in corrente continua: inserire il puntale nero (comune) nella boccola relativa (in basso a sinistra). Portare il selettore in posizione « DC + » (misure di tensioni continue positive verso massa), ed il commutatore di portata su 1,5 volt. Inserire il puntale con cavo schermato nella boccola centrale, e mettere entrambi i puntali a contatto con i poli di una pila di recente produzione, da 1,5 volt (ad esempio, quella fornita con l'apparecchio e che serve per il funzionamento del circuito ohmetrico). Regolare quindi il comando « *taratura corr. cont.* » fissato alla basetta a circuito stampato (vedi lezione precedente), finchè l'indice dello strumento si porta in corrispondenza del puntino rosso esistente sulla scala.

Sempre col selettore sulla posizione « DC + » (tensioni continue positive verso massa), controllare il funzionamento del comando « ZERO ADJUST » (regolazione zero): ruotando la manopola relativa, l'indice deve portarsi fino a circa metà della scala graduata. Portare detto indice in corrispondenza dello zero (inizio della scala) e commutare da « DC + » a « DC — ». Si deve trovare una posizione nella quale detta commutazione non provoca alcuna deviazione dell'indice. In caso contrario, se la deviazione inevitabile non è inferiore a due divisioni della scala, è probabilmente necessario un ulteriore periodo di invecchiamento per la valvola 12AU7.

Controllo dell'ohmetro: spegnere l'apparecchio: montare la batteria in modo che il polo negativo sia in contatto con la molla, ed assicurarsi che i contatti siano perfettamente puliti.

Riaccendere l'apparecchio, e portare il selettore in posizione « OHMS ». Regolare quindi la manopola contrassegnata « OHMS ADJUST » finchè l'indice si porta a fondo scala (destro). Inserire il puntale rosso nella boccola destra

e metterlo in contatto col puntale comune (nero). L'indice dello strumento deve tornare immediatamente a zero, ossia all'inizio a sinistra della scala, corrispondente al valore ohmico zero.

Taratura in corrente alternata: togliere momentaneamente il puntale rosso. Mettere il controllo di portata su 1,5 volt, ed il selettore su « AC ». Regolare il potenziometro « *Bilanciam. corr. alt.* » finchè, commutando mediante il selettore da « AC » a « DC+ » o « DC— », non si nota più alcun movimento da parte dell'indice. Rimettere a posto il puntale rosso per la corrente alternata, e collegare entrambi i puntali ad una presa di corrente (tensione rete), dopo aver spostato il commutatore di portata sulla posizione « 500 volt ».

A questo punto, regolare il potenziometro « *taratura corr. alt.* » applicato alla basetta a circuito stampato, finchè lo strumento indica esattamente la tensione di rete sulla scala a 500 volt. A tale scopo, dal momento che detta tensione non ha un valore assolutamente definito e costante, sarebbe opportuno disporre di un secondo strumento molto preciso da usare come campione per il confronto.

Le operazioni ora descritte completano la messa a punto. Se tutto il montaggio è stato effettuato in modo appropriato, non si deve manifestare alcuna difficoltà. Una volta terminata la taratura, non rimane che lasciare acceso l'apparecchio per 48 ore consecutive, e ripetere tutta l'operazione.

Le caratteristiche del circuito sono tali da assicurare la massima stabilità per un tempo indeterminato. Tuttavia, se col tempo si rivelassero delle inesattezze, è sempre possibile ripetere l'intero procedimento. Ciò sarà opportuno in modo particolare allorchè, a causa di un eventuale guasto qualsiasi, si dovrà provvedere alla sostituzione di uno o più componenti.

Tecnica di impiego

Come si è detto alla lezione 53ª, il voltmetro elettronico presenta numerosi vantaggi nei confronti di un comune multimetro, tra cui, il più importante, è l'elevata impedenza di ingresso. Ciò consente di effettuare misure di elevata precisione su circuiti ad alta impedenza, come — ad esempio — l'uscita di stadi di amplificazione con accoppamento a resistenza e capacità, la misura di tensioni di polarizzazione direttamente sulla griglia della valvola, ecc.

Per meglio comprendere ciò, consideriamo la **figura 1**: essa rappresenta una comune valvola amplificatrice, avente una resistenza di carico di 0,5 Mohm, e funzionante con una tensione di alimentazione di 100 volt. Supponiamo che, in tali condizioni, la corrente anodica determini una caduta di tensione di 50 volt ai capi della resistenza. In tal caso la tensione effettiva presente sulla placca ammonta a 50 volt. Misurando detta tensione con uno strumento comune avente una sensibilità — ad esempio — di 1.000 ohm/volt, predisposto su una portata di 100 volt fondo scala, la resistenza interna relativa viene ad essere di 100.000 ohm. Tale resistenza viene a trovarsi — durante la misura — tra la placca della valvola e la massa, ossia in parallelo alla sua resistenza interna che ammonta anch'essa a 0,5 Mohm (infatti, la caduta di tensione

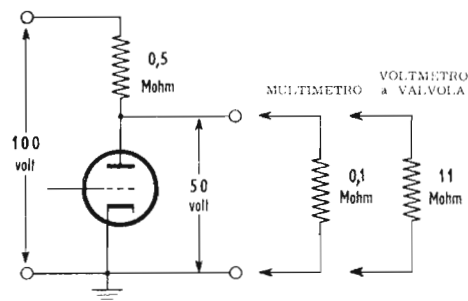



Fig. 1 — La tensione anodica di una valvola, misurata con un multimetro avente una resistenza interna relativamente bassa, risulta notevolmente inferiore al valore effettivo. Misurata invece con un voltmetro a valvola, denota il valore reale grazie alla elevata resistenza di ingresso dello strumento, che è tale da non apportare al circuito variazioni di entità apprezzabile.

presente tra placca e catodo ammonta a 50 volt, come per la resistenza di carico, e la corrente che la percorre è ovviamente la medesima).

In queste condizioni, la resistenza tra placca e massa viene ad essere quella risultante dalla combinazione in parallelo della resistenza interna della valvola, e della resistenza interna dello strumento (100.000 ohm). Il valore totale non è più di 0,5 Mohm, bensì di 83.330 ohm. Di conseguenza, sempre durante la misura, la tensione tra placca e massa scende a circa 14 volt, mentre dovrebbe essere pari a 50.

Effettuando invece la misura con un voltmetro elettronico, ad esempio quello che qui descriviamo, la cui resistenza di ingresso ammonta a 11 Mohm, sarà facile al lettore calcolare la percentuale di errore introdotta dallo strumento, percentuale che diventa — in tal caso — assolutamente trascurabile.

Misura di tensioni continue: collegare il puntale comune (nero) al lato freddo (generalmente massa) della tensione da misurare, servendosi a tale scopo della apposita pinza a « coccodrillo » presente all'altra estremità del cavo. Portare il selettore su una delle posizioni « DC+ » o « DC— », a seconda che la tensione da misurare sia rispettivamente positiva o negativa rispetto a massa. Predisporre inoltre il commutatore di portata su un valore sicuramente superiore a quello della tensione da misurare (se l'entità è approssimativamente nota): in caso contrario detto commutatore deve essere sulla posizione massima di 1.500 volt.

Toccare con l'altro puntale il lato « caldo » della tensione da misurare: se l'indice dello strumento si sposta per un tratto inferiore ad un terzo dell'intera scala, diminuire la portata. Affinchè la misura sia precisa e di comoda lettura, è opportuno che la deflessione corrispondente dell'indice sia compresa tra 1/2 e 2/3 della deflessione totale.

Le portate più basse, ossia 1,5-5 e 15 volt sono utili nella posizione « DC— » per misurare tensioni di polarizzazione direttamente sulle griglie delle valvole di qualsiasi apparecchiatura elettronica. Con le altre portate è invece possibile misurare qualsiasi altra tensione, sia anodica che altro, anche direttamente sugli elettrodi: ciò grazie alla elevata impedenza di ingresso dello strumento che non apporta variazioni apprezzabili alla resistenza del carico ai cui capi si effettua la misura.

Misura di tensioni alternate: collegare il cavo comune (nero) alla boccola relativa, come per la misura di tensioni continue. Anche in questo caso la pinza a coccodrillo deve essere in contatto con il lato « freddo » della tensione da misurare. Portare il selettore su « AC » (corrente alternata), ed il commutatore apposito su una portata sicuramente superiore alla tensione da misurare (se l'entità è approssimativamente nota). In caso contrario esso deve essere messo sulla portata più alta di 1.500 volt.

Si noti che le scale dello strumento relative alla corrente alternata sono tarate sia in valori efficaci che in valori di picco. Allorchè si misurano tensioni sinusoidali, si possono leggere indifferentemente entrambi i valori, in quanto, — come sappiamo — la tensione tra picco e picco equivale alla tensione efficace moltiplicata per il fattore 2,83.

Allorchè si misurano invece tensioni alternate non sinusoidali (ad esempio tensioni alternate distorte, segnali ad onda quadra o a dente di sega, ecc.), la lettura deve essere considerata pari circa al 35 per cento del valore di picco.

Se — ad esempio — il commutatore di portata si trova su 15 volt, e tra i puntali viene applicata una d.d.p alternata sinusoidale di 10 volt eff., l'indice indicherà tale valore sulla scala tarata in volt efficaci, ed il valore 28,3 sulla scala tarata in valori di picco. Questa particolarità è molto utile in quanto evita la perdita di tempo necessaria per effettuare il calcolo a seconda della necessità di lettura.

Allorchè si effettuano misure in corrente alternata, si tenga sempre presente che il puntale da collegare al lato « caldo » della tensione incognita è particolarmente sensibile ai campi elettromagnetici, e particolarmente a quelli accumulati dal corpo dell'operatore. Il solo contatto della mano con l'impugnatura isolata del puntale può dare già una lettura che — naturalmente — falsa in seguito la misura vera e propria. Sulle portate basse, l'azzeramento deve essere effettuato sempre tenendo i due puntali in cortocircuito tra loro, ed è bene portare il secondo puntale a contatto col punto su cui si deve leggere la tensione, ed allontanare poi la mano per effettuare la lettura. Questo inconveniente, comune a tutti i voltmetri elettronici di elevata sensibilità, può portare ad inesattezze variabili dal 5 al 15 per cento, a seconda della portata.

Nella misura di tensioni elevate, è sempre opportuno ricordare le norme enunciate nella lezione 53ª, e, in particolar modo, è bene collegare i puntali con l'apparecchiatura sotto prova allorchè la stessa è ancora disinserita; la medesima procedura verrà seguita successivamente per staccare i puntali stessi.

Misura di resistenze: il puntale comune (nero) deve sempre essere inserito nella sua boccola (in basso a sinistra), ed il puntale rosso nella boccola in basso a destra. Il selettore deve essere portato sulla posizione « OHMS », ed il commutatore di portata deve invece essere su una portata che consenta la lettura del valore di più possibile in prossimità del centro scala.

Si provveda innanzitutto ad azzerare lo strumento portando l'indice a fondo scala (« inf » sulla scala degli ohm), agendo sulla manopola « OHMS ADJ. » (regolazione ohm), e tenendo i puntali isolati tra loro. La misura viene poi effettuata collegando i puntali stessi ai capi della resistenza, e variando la portata fino ad avere una lettura comoda ed esatta. Una volta individuata la portata più adatta, è bene staccare uno dei puntali e controllare l'azzeramento, dopo di che si ripete la lettura.

Il valore letto sulla scala deve sempre essere moltiplicato per il fattore indicato dal commutatore di portata.

Si tenga presente che, sebbene per il circuito ohmetrico venga impiegata una batteria, le misure vengono del pari effettuate attraverso un circuito elettronico, per cui anche per la misura di resistenze lo strumento deve essere acceso. Allo scopo di evitare una breve durata di detta batteria, è opportuno predisporre il selettore sulla posizione « OHMS » solo quando si deve effettuare una misura di resistenza.

Misure in corrente alternata sulla scala dei decibel: lo standard adottato in questo strumento è quello convenzionale di 0 dB = 1 mW su 600 ohm (vedi lezione 54ª). Il valore di 0 dB corrisponde quindi ad una tensione di 0,774 volt C.A. sulla scala 1,5 volt efficaci. Le correzioni da apportare alla lettura in dB sulle altre portate sono le seguenti:

Portata in V C.A.	*Aggiungere*
0-1,5	+ 0 dB
0-5,0	+10 dB
0-15	+20 dB
0-50	+30 dB
0-150	+40 dB
0-500	+50 dB
0-1.500	+60 dB

Lettura delle scale: le indicazioni del commutatore di portata si riferiscono — ovviamente — al valore a fondo scala di ogni singola portata. Col commutatore sulla portata 1,5 volt, si usufruirà per la lettura, della scala segnata 0-15, spostando la virgola di una cifra verso sinistra. Ad esempio, una indicazione 8 rappresenta — in tal caso — una tensione di 0,8 volt.

Con il commutatore sulla portata 5 volt si legge invece la scala 0-50, sempre spostando la virgola di una cifra verso sinistra; di conseguenza, una indicazione — ad esempio — di 40, significa che la tensione misurata ammonta, in realtà, a 4 volt.

Nelle portate di 15 e di 50 volt fondo scala le lettura vengono effettuate direttamente, senza apportare alcuna variante al valore indicato. Per contro, nella portata 150 volt si leggerà sulla scala terminante col valore di 15, e si moltiplicherà la lettura per 10. Nella portata 500 volt si leggerà sulla scala terminante col valore 50, e si moltiplicherà la lettura per 10. Infine, nella portata 1.500 volt, si leggerà sulla scala del 15, e si moltiplicherà la lettura per 100. In tal caso, una indicazione di 8 — ad esempio — corrisponderà ad un valore di 800 volt.

La figura 2 riproduce l'intero quadrante dello strumento. Si noterà che la seconda e la terza scala, cominciando dall'alto, sono contrassegnate a sinistra da una **« graffe »** recante le diciture « D.C.V. » e « A.C.V. » (rispettivamente volt C.C. e volt C.A.). Ciò non significa che la scala supe-

riore sia riferita alla sola corrente continua, e che quella inferiore sia riferita alla sola corrente alternata, bensì che entrambe le scale sono riferite ad entrambi i tipi di tensione, a seconda della posizione del selettore.

La scala in ohm è riferita alla portata « OHMS x 1 ». Nelle portate successive, il valore letto dovrà essere moltiplicato rispettivamente per 10, per 100, per 1.000 per 10.000, per 100.000 e per 1.000.000.

La precisione dell'equipaggio mobile è del 2 per cento a fondo scala. Nelle portate in corrente continua, la precisione del moltiplicatore è pari all'1 per cento, che, sommata a quella dello strumento, dà una tolleranza totale del 3 per cento.

Se si effettua un confronto delle letture con quelle fornite da un altro strumento, è necessario tener conto del fatto che quest'ultimo (a meno che non si tratti di un « campione » di provata precisione) può denotare un errore in senso opposto.

Sappiamo che, allorchè si parla di precisione, essa viene espressa col segno ± seguito da una data percentuale numerica (ad esempio ±2%). Ciò significa che, su una tensione — poniamo — di 100 volt, il valore indicato può essere di 2 volt in più o in meno, ossia la tensione misurata può essere compresa tra 98 e 102 volt.

Supponiamo che il nostro strumento dia un errore del 2% in meno, e che lo strumento che usiamo per effettuare il confronto sia della medesima classe, ossia abbia anch'esso una precisione del 2%. Se quest'ultimo introduce un errore del 2% in senso opposto, ossia dà una lettura di 102 volt, abbiamo tra i due strumenti una differenza pari a

$$102 - 98 = 4 \text{ volt}$$

Tale differenza non deve essere imputata per intero all'uno o all'altro strumento, bensì divisa tra i due. In caso contrario, la tolleranza sulla lettura dello strumento al quale viene imputato l'errore non sarebbe più del 2% bensì del 4%.

La precisione delle portate ohmetriche dipende dalla precisione dello strumento (che sappiamo essere del 2%), da quella del moltiplicatore (pari all'1%), nonchè dalla resistenza interna della batteria e dalla stabilità della tensione da essa erogata. Si tenga presente che le pile a secco, anche se non sottoposte ad un impiego prolungato, dopo un certo periodo di tempo, che può variare — a seconda della temperatura ambiente — da uno a diversi mesi, perdono le caratteristiche di stabilità. La tensione diventa instabile, e la resistenza interna aumenta. Di conseguenza, per avere letture ohmetriche il più possibile esatte, è consigliabile sostituire detta batteria almeno ogni tre mesi, indipendentemente dall'uso che ne è stato fatto, e dalla indicazione di tensione che essa fornisce allorchè viene sottoposta ad un controllo col voltmetro.

Nelle portate ohmetriche più basse, essendo la corrente che circola nel moltiplicatore di valore più elevato che non nelle portate alte, è bene effettuare le misure con la massima rapidità. Ciò evita che la batteria sia costretta ad erogare una corrente di notevole intensità per un tempo tale da accelerarne la scarica.

In riferimento alle portate in corrente alternata inve-

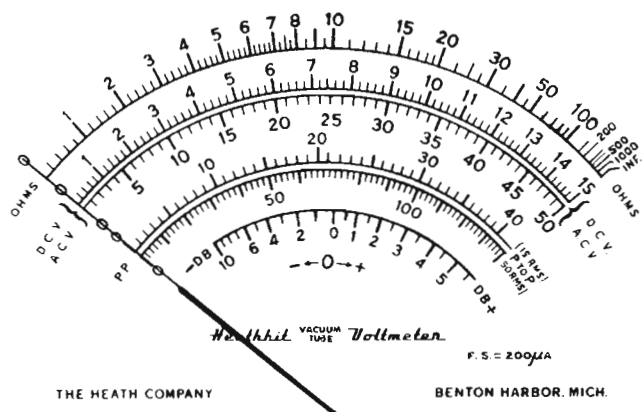



Fig. 2 — Riproduzione della scala graduata dello strumento montato sul voltmetro a valvola V-7A. La scala ohmetrica è tale da presentare il valore 10 al centro, per cui la lettura è facile e precisa per la maggior parte della sua estensione. Le scale voltmetriche sono quattro: due per i valori efficaci e due per i valori di picco. La scala dei decibel può essere estesa a portate maggiori mediante l'aggiunta di un fattore di correzione. Lo zero centrale, presente al di sotto di quest'ultima, consente l'impiego dello strumento come galvanometro, per la misura di tensioni negative o positive.

ce, la precisione può essere compromessa dall'influenza dei campi elettromagnetici esterni, per cui è necessario adottare le precauzioni cui abbiamo già fatto cenno. In ogni caso, la pratica derivata dall'uso consentirà all'operatore di effettuare sempre misure di sufficiente esattezza.

Come si nota osservando la figura 2, al di sotto della scala dei decibel è riportato uno zero centrale, ai cui lati si trovano due frecce rivolte rispettivamente verso destra (+) e verso sinistra (—). Esso consente l'uso del voltmetro come galvanometro per la misura di tensioni continue ed oscillanti a bassissima frequenza, indipendentemente dalla relativa polarità.

Abbiamo visto come, mediante la regolazione del comando « ZERO ADJUST », sia possibile portare l'indice fino alla metà della scala allorchè il selettore è in posizione « DC+ » o « DC — ». Nella posizione « DC+ », la presenza in ingresso di una tensione continua *positiva* verso massa determina la deviazione dell'indice verso destra. Se in tali condizioni dovessimo misurare una tensione *negativa* verso massa, l'indice verrebbe deviato oltre il fondo scala a sinistra, impedendo la lettura. In tal caso, prima di effettuare detta lettura, è necessario portare il selettore su « DC — ».

Esistono dei casi, nella pratica di laboratorio, nei quali può far comodo la possibilità di misurare rapidamente tensioni negative o positive indifferentemente, senza dover ricorrere ad operazioni di commutazione.

Per far ciò, è sufficiente portare l'indice in corrispondenza dello zero centrale, e predisporre il selettore sulla posizione « DC+ ». In tal caso — infatti — una tensione positiva determina la deviazione dell'indice nella seconda metà della scala, mentre una tensione negativa determina una deviazione in senso opposto, ossia verso lo zero iniziale. Dal momento che le scale sono lineari (ci riferiamo a quelle voltmetriche soltanto), è del pari possibile effettuare la lettura, tenendo conto semplicemente del numero delle divisioni. Ovviamente, in questo caso, tutte le portate vengono dimezzate. Nella portata di 50

volt fondo scala — ad esempio — portando l'indice al centro della scala avremo la possibilità di misurare 25 volt negativi o positivi verso massa, a seconda che l'indice si sposti rispettivamente verso destra o verso sinistra.

In tal caso, ogni divisione in tratto più nero e più lungo corrisponde ad una tensione di 5 volt, ed ogni divisione minore a 0,2 volt. I numeri riportati sulla scala non possono servire per la lettura, in quanto non corrispondono più ai valori originali, tuttavia il calcolo è molto semplice. Supponiamo infatti che, nella portata 50 volt a fondo scala, l'indice si porti in corrispondenza della divisione minore che precede immediatamente quella contrassegnata col numero 20.

Sappiamo che una divisione maggiore corrisponde a 5 volt, ed una minore a 0,2 volt. La tensione indicata sarà dunque pari a 5,2 volt negativi rispetto a massa.

Carica elettrostatica: negli strumenti di misura a bobina mobile, speciè se di elevata sensibilità, accadono a volte fenomeni elettrostatici che provocano una deviazione dell'indice anche se non viene effettuata alcuna misura. Ciò accade — in particolare — quando si provvede alla pulizia della protezione in vetro mediante un panno di lana o di altro tessuto. L'attrito tra i due corpi si traduce in una carica elettrostatica che determina il fenomeno.

La protezione in polistirene che ricopre lo strumento del voltmetro a valvola è stata trattata in modo da resistere all'accumulazione di notevole quantità di elettricità statica. Nel caso però che il fenomeno si verifichi in seguito all'attrito con un panno, esercitato con una certa energia, si può ovviare all'inconveniente che si manifesta, strofinando la superficie elettrizzata con un panno imbevuto di « Glin ». Si tratta appunto di un prodotto che neutralizza le cariche elettrostatiche, e che può essere facilmente trovato in commercio. D'altra parte, anche se detto fenomeno si manifesta, scompare da sè dopo un certo tempo, variabile da qualche ora ad uno o due giorni.

Riparazione

Nell'eventualità che in fase di messa a punto, o in seguito ad un certo periodo di uso, si manifestino degli inconvenienti, suggeriamo di effettuare i seguenti controlli:

1) Controllare le due valvole 6AL5 e 12AU7, eventualmente sostituendole con altre di sicura efficienza. Dette valvole non devono avere caratteristiche particolari, per cui la loro sostituzione non può essere causa di variazioni nella taratura. Il doppio triodo non deve essere necessariamente costituito da due unità con caratteristiche rigorosamente identiche, in quanto il bilanciamento viene effettuato ad opera di un apposito potenziometro.

2) Se il difetto di funzionamento si manifesta esclusivamente sulle portate in corrente alternata, è evidente che la sola valvola da controllare, unitamente ai relativi circuiti, è la 6AL5.

3) Se il difetto di funzionamento si manifesta esclusivamente nelle portate ohmetriche, controllare innanzitutto lo stato della batteria da 1,5 volt, nonchè la perfetta pulizia dei relativi contatti. Se l'indice si porta verso destra qualunque sia la posizione del comando di azzeramento, ciò significa che esiste certamente un'interruzione nella serie delle resistenze. Si noti che, affinchè il funzionamento come ohmetro sia corretto, è indispensabile che tale sia anche il funzionamento come voltmetro in corrente continua ed in corrente alternata.

4) Quando lo strumento viene montato « ex novo », può accadere che non si riesca ad ottenere l'azzeramento perfetto. In linea di massima ciò è imputabile alla necessità di assestamento da parte della valvola 12AU7. Un periodo di accensione ininterrotto di 48 ore porrà probabilmente fine all'inconveniente citato.

5) Controllare che non esistano interruzioni nei cavi dei puntali. Ciò accade sovente a causa delle numerose flessioni cui essi vengono quotidianamente sottoposti. In modo particolare, si controlli che non venga meno l'isolamento tra il conduttore e la calza metallica esterna del puntale il cui cavetto è schermato.

6) L'inefficienza del comando di azzeramento può essere imputabile ad interruzione del collegamento tra i piedini 1 e 6 della valvola 12AU7.

7) In caso di difficoltà nel rintracciare il guasto, controllare tutte le tensioni presenti nello strumento, ripetendo le operazioni compiute durante la fase preliminare della messa a punto.

Nell'eventualità che il circuito stampato presenti delle rotture, ossia delle interruzioni nei collegamenti in rame depositati sulla basetta isolante, la riparazione può essere effettuata in modo relativamente semplice: basta infatti creare un « ponte » che abbracci i due lati della rottura. A tale scopo preparare un segmento di conduttore nudo e rigido, del diametro di qualche decimo di millimetro. Appoggiarlo trasversalmente sulla rottura in modo che venga a trovarsi per una metà su un lato del collegamento interrotto, e per l'altra metà sull'altro lato. Tenendolo fermo in tale posizione, saldare le due estremità depositando una piccola quantità di stagno.

Durante questa operazione è bene che il saldatore rimanga a contatto con la parte da saldare il meno possibile, onde evitare la bruciatura della basetta isolante. Per questo motivo la punta deve essere perfettamente pulita, come pure il segmento di conduttore rigido che viene applicato.

In caso di guasto all'equipaggio mobile (ad esempio interruzione della bobina, rottura di una delle molle antagoniste, o altro), è senz'altro sconsigliabile tentare di effettuare la riparazione da sè, a meno che non si abbia una competenza specifica e la relativa attrezzatura. In caso contrario, è certamente opportuno rivolgersi ad un laboratorio appositamente attrezzato.

a
giorni il nuovo fascicolo
di
"RADIO e TELEVISIONE,,

E' — come sempre — un numero di alto interesse per il suo ricco contenuto. Vi troverete, tra l'altro:

— Un articolo sulla registrazione magnetica, particolarmente dedicato alle **misure sul rendimento dei registratori,** un argomento sul quale non è facile trovare letteratura tecnica in italiano.

— Un articolo dedicato ad un esame delle **caratteristiche** e delle **principali applicazioni dei transistori,** con particolare riguardo al progetto dei radioricevitori. L'Autore — ingegnere, dirigente presso un grande complesso industriale specializzato nel ramo — tratta con vera competenza e praticità dei problemi e delle soluzioni relative.

— Agli impulsi si fa sovente ricorso nelle apparecchiature che riguardano le applicazioni dell'elettronica all'industria: un chiaro scritto su questo soggetto vi informa sui **circuiti generatori di impulsi.**

— Ai tecnici di Laboratorio interesserà certamente il **« tracciatore di curve » per semiconduttori** (diodi e transistori) che costituisce oggetto di un articolo tecnico descrittivo, con dati relativi alla realizzazione.

— **« Fotomoltiplicatori e scintillatori per rivelazioni di radiazioni nucleari »** è il titolo di un altro articolo contenuto in questo fascicolo. In tale articolo si esaminano le soluzioni più recenti e razionali adottate per pervenire ad apparecchiature semplici e di estremo rendimento.

— Infine, un argomento mai trattato in Italia, con un'analisi tecnico analitica così completa: **la termoelettricità.** Sono esposti, oltre che i principî, anche le più recenti e convenienti applicazioni, e i criteri di progetto di realizzazioni pratiche. E' assai opportuno seguire oggi il rapido evolversi di questa tecnica che è destinata a rivoluzionare non poche branche produttive basate su altri sistemi tradizionali.

Completano il fascicolo le abituali rubriche, e cioè un notiziario relativo ad avvenimenti riguardanti la tecnica elettronica, da tutto il mondo; una recensione di libri ed opuscoli; gli avvisi gratuiti, a disposizione indistintamente di tutti i lettori; un esame di apparecchiature del commercio; un breve riassunto di importanti articoli di riviste straniere, ecc. ecc.

Abbonamento per 12 Numeri. . . . . lire 3.060.
Per gli abbonati al "Corso di Radiotecnica,, ... solo lire 2.754.

Abbonamento: "RADIO e TELEVISIONE,, - via dei Pellegrini N. 8/4, conto corrente postale: 3/4545 - Milano

Una copia, alle edicole, lire 300

Prenotatela presso il vostro giornalaio.

Comunicategli che il servizio di distribuzione per tutta l'Italia è affidato alla spett. Diffusione Milanese - Via Soperga 57 - Milano.

Questo fascicolo può essere comunque anche il primo di un vostro abbonamento.

L'abbonamento non ha riferimento all'anno solare e vi da sempre diritto a ricevere 12 Numeri: inoltre, vi invieremo 4 fascicoli in omaggio, da voi scelti tra quelli disponibili, anteriori al N. 96.

Se non disponete del N. 97 potete farlo includere nell'abbonamento.

Mantenetevi aggiornati con la tecnica radio-TV leggendo assiduamente

« RADIO e TELEVISIONE »

Per la costruzione delle vostre apparecchiature radio, la Ditta GIAN BRUTO CASTELFRANCHI è in grado di fornirvi tutto il materiale occorrente. Rivolgetevi alla più vicina delle sue sedi o direttamente alla sede Centrale - Via Petrella, N. 6 - Milano.

SEDI

AVELLINO	- Via Vitt. Emanuele, 122
BARI	- Piazza Garibaldi, 58
BOLOGNA	- Via R. Reno, 62
BENEVENTO	- Corso Garibaldi, 12
BERGAMO	- Via S. Bernardino, 28
CIVITANOVA	- Corso Umberto, 77
CAGLIARI	- Via Rossini, 44
CATANIA	- Via Cimarosa, 10
CREMONA	- Via Cesari, 1
FIRENZE	- Viale Belfiore, 8 r
GENOVA	- Piazza J. da Varagine 7/8 r
LA SPEZIA	- Via Persio, 5 r
MANTOVA	- Via Arrivabene, 35
NAPOLI	- Via Camillo Porzio, 10 a/b
PALERMO	- Piazza Castelnuovo, 48
PADOVA	- Via Beldomandi, 1
ROMA	- Via S. Agostino, 14
TORINO	- Via Nizza, 34

Ricordate che, disponendo del "CATALOGO ILLUSTRATO GBC", potrete con facilità individuare le parti staccate che vi interessano: è un grosso volume di ben 613 pagine che potrete richiedere - con versamento di lire 1000 - all'indirizzo citato.

corso di
RADIOTECNICA

pubblicazione settimanale - 11 - 18 febbraio 1961 - un fascicolo lire 150 20° numero

corso di
RADIOTECNICA

settimanale a carattere culturale

Direzione, Amministrazione, Pubblicità:
Via dei Pellegrini 8/4 - Telef. 593.478
MILANO

Ogni fascicolo — contenente 3 lezioni — costa lire 150, acquistato alle edicole.

Se l'edicola risulta sprovvista, o si teme di rimanere privi di qualche numero, si chieda invio settimanale direttamente al proprio domicilio a mezzo abbonamento.

Il versamento per ricevere i 52 fascicoli costituenti l'intero Corso è di lire 6500 + I.G.E. = lire 6630. A mezzo vaglia postale, assegno bancario, o versamento sul conto corr. postale 3/41.203 del « Corso di RADIOTECNICA » - Via dei Pellegrini 8-4 - Milano. In ogni caso, scrivere in modo molto chiaro e completo il proprio indirizzo.

L'abbonamento può essere effettuato in qualsiasi momento; si intende comprensivo delle lezioni pubblicate e dà diritto a ricevere tali lezioni, che saranno inviate con unica spedizione.

Estero: abbonamento al Corso, Lit. 8.500. ($ 15). Numeri singoli Lit. 300 ($ 0,50).

Per i cambi di indirizzo durante lo svolgimento del Corso, unire lire 100, citando sempre il vecchio indirizzo.

Fascicoli singoli arretrati — se disponibili — possono essere ordinati a lire 300 cadauno.

Non si spedisce contrassegno.

Distribuzione alle edicole di tutta Italia: Diffus. Milanese . Via Soperga, 57 - Milano.

Direttore responsabile: Giulio Borgogno.

Autorizzaz. N. 5357 - Tribunale di Milano.

Stampa: Intergrafica S.r.l. - Cologno Monzese.

La Direzione non rivende materiale radio; essa può comunicare, se richiesta, indirizzi di Fabbricanti, Importatori, Grossisti ecc. in grado di fornire il necessario ed ai quali il lettore può rivolgersi direttamente.

Alla corrispondenza con richiesta di informazioni ecc. si prega allegare sempre il **francobollo per la risposta.**

Parte del testo e delle illustrazioni è dovuta alla collaborazione del Bureau of Naval Personnel, nonchè al Dept. of the Army and the Air Force - U.S.A.

A chi può essere utile questo Corso? Anzitutto — stante la sua impostazione — il Corso, basato sull'esposizione in forma a tutti accessibile, della radiotecnica, dai suoi elementi basilari alla evoluzione più recente, rappresenta la forma ideale per tutti coloro che intendono dedicarsi all'elettronica, sia come forma ricreativa sia — soprattutto — per l'acquisizione di una professione specializzata che possa procurare loro una posizione di privilegio in seno alla società odierna.

Anno per anno, la nostra civiltà si indirizza sempre più verso questa meravigliosa, si potrebbe dire fascinosa, elettronica, che nel modo più evidente consente sviluppi impensati, progressi grandiosi e una rapida evoluzione di tutti gli altri rami dello scibile che essa tocca e influenza.

L'industria, tutta l'industria, nel senso più ampio, da quella elettrotecnica a quella meccanica, alla metallurgica, alla chimica ecc., con i suoi laboratori di ricerca e le sue fabbriche richiede, e richiederà sempre più, con un ritmo rapidamente crescente, tecnici specializzati con conoscenza dell'elettronica, tecnici specificatamente elettronici e persino operai e impiegati di ogni ordine e categoria con cognizioni di elettronica.

Si può dire che anche le branche commerciali, quelle dei trasporti e persino quelle amministrative con le recenti introduzioni delle calcolatrici, abbisognano di personale che conosca i principi dell'elettronica, le macchine relative, il loro pieno sfruttamento, la eventuale riparazione ecc. e, quanto più in modo completo, quanto meglio.

Nasce, da una tale situazione, una logica conseguenza: per la scelta di una professione o di un mestiere, per un miglioramento della propria posizione sociale, per l'intrapresa di una libera attività o anche per la sola acquisizione di cognizioni che indubbiamente verranno oltremodo utili, è quanto mai opportuno riflettere se non sia conveniente dedicare un po' di tempo allo studio di questa scienza che ha tra l'altro il pregio di rendersi immediatamente attraente, concreta, accessibile e foriera di moltissime soddisfazioni.

A questo scopo appunto, e con questi intenti, è stato redatto questo Corso.

Non mancano invero altri corsi (specie per corrispondenza) o scuole di radiotecnica, nè mancano (sebbene siano in numero del tutto inadeguato) scuole statali o pareggiate ma la struttura e l'impostazione che caratterizzano queste 156 lezioni sono alquanto particolari, presentando non pochi vantaggi sulle diverse altre forme di cui si è detto.

Anzitutto vogliamo porre in evidenza **il fattore economico.**

Frequentare regolarmente, durante tutto l'anno, una scuola è certo il modo più logico — anche se non il più rapido — per apprendere ma, tralasciando il fatto che rarissimi sono gli Istituti di radiotecnica, è a tutti possibile dedicarsi esclusivamente, e per l'intero anno, allo studio? Noi riteniamo che chi può farlo costituisca oggi assai più l'eccezione che la regola. Ciò significa infatti poter disporre liberamente del proprio tempo senza avere la necessità di un contemporaneo guadagno: il nostro Corso permette a chiunque di studiare a casa propria, nelle ore libere dal lavoro, senza abbandonare o trascurare quest'ultimo. Ciò caratterizza invero anche altri corsi, ma il vantaggio economico diviene notevole ed evidentissimo se si considera che di fronte all'esborso, anche se rateale, di quasi 80.000 lire che i corsi per corrispondenza richiedono, seguendo il nostro Corso la spesa in un anno risulta di poco più di 7500 lire (150 lire alla settimana presso un'edicola) o di 6630 lire totali, con recapito postale, settimanale, delle lezioni a domicilio.

E' superfluo dire che la Modulazione di Frequenza, i transistori, i circuiti stampati, la trasmissione, il telecomando ecc. sono argomenti integrali del Corso e non costituiscono motivo di corsi speciali, aggiunti o particolari.

Le lezioni di questo Corso — a differenza di molte altre — non sono stampate con sistemi di dispensa, a ciclostile, o con sistemi più o meno analoghi, derivanti cioè da un originale battuto a macchina da scrivere; esse sono stampate in uno stabilimento grafico, con chiari caratteri tipografici da cui deriva una assai più agevole lettura e — fattore certamente di non secondaria importanza — un contenuto molto più ampio, corrispondendo una pagina a stampa a tre o quattro pagine di quelle citate. Il lettore avrà, alla fine del Corso, un volume di ben 1248 pagine di grande formato!

Chiunque, indipendentemente dall'età, dalla professione e dalle scuole compiute **può seguire il Corso.** Alle esposizioni teoriche si abbinano numerose, attraenti, istruttive ed utili descrizioni che consentono la realizzazione di ricevitori, amplificatori, strumenti vari e persino di trasmittenti su onde corte.

A questo proposito è sintomatico il fatto che la Direzione non vuole assolutamente assumere la fisionomia di un fornitore o commerciante di materiale radio, rivendendo agli allievi le parti necessarie. Il materiale occorrente l'interessato può acquistarlo dove e come meglio crede e, assai spesso anzi, già ne dispone. Viene così evitato l'acquisto forzoso, caratteristico più o meno di tutti gli altri corsi.

Anche chi è già radiotecnico, anche chi ha seguito o segue altri corsi troverà il massimo tornaconto in questo completo ed aggiornato lavoro. Molte nozioni, è logico, saranno note, altre un po' meno e sarà utile rinfrescarle, e il tutto infine costituirà un manuale di consultazione, prezioso tanto per la teoria esposta quanto per i numerosi schemi, per le tabelle, per i grafici, gli elenchi, i dati, il vocabolario dei termini ecc.

Concludendo, si può affermare che questo **Corso di Radiotecnica** oltre che come insegnamento graduale si presenta come **enciclopedia e rivista assieme** ciò che permette di formare — con modestissima spesa — **il più completo, ricco, utile e pratico volume di radiotecnica di cui sia dato oggigiorno disporre.**

TRASFORMATORI di BASSA FREQUENZA

Nella lezione 37ª, si è visto analiticamente il funzionamento dei trasformatori in genere; i riferimenti ivi contenuti, e molte delle considerazioni esposte, vertevano però esclusivamente sui trasformatori di alimentazione, vale a dire su organi caratterizzati sempre dall'impiego di una certa potenza e dal funzionamento con tensioni alternate a frequenza fissa ed unica (frequenza di rete). Nel campo radiotecnico si incontrano spesso, oltre ai citati trasformatori, anche quelli che sono destinati all'uso su di una intera gamma di frequenze e che, molte volte, sono solo trasformatori di tensione, non avendo cioè il compito del trasferimento di potenza, ma dovendo semplicemente variare le tensioni di segnale negli stadi amplificatori di tensione. Si tratta dei trasformatori intervalvolari, dei trasformatori microfonici ecc., ai quali già abbiamo fatto un cenno alla lezione 55ª, esaminando i diversi sistemi di accoppiamento intervalvolare. Il lettore sa già quindi, in linea di massima, quali sono i vantaggi e quali gli inconvenienti del sistema interstadio a trasformatore.

Il trasformatore per Bassa Frequenza presenta in effetti una tale importanza che giudichiamo debba essere oggetto di un'intera lezione, così come lo è stato quello per alimentazione. Naturalmente, diamo per acquisiti molti concetti dato che, come principio teorico di funzionamento, non vi è differenza tra le due categorie: tuttavia, in alcuni punti, sarà utile ripetere qualche caratteristica per meglio seguire l'esposizione delle nuove nozioni. Ciò premesso, osserviamo uno schema nel quale figurano ben tre trasformatori, ognuno dei quali — pur sempre nell'applicazione a frequenze audio — svolge un compito diverso da quello degli altri due. Lo schema è riprodotto alla **figura 1** e rappresenta un completo amplificatore a tre valvole (esclusi i circuiti di alimentazione).

Come si può notare, nel primo stadio dell'amplificatore viene impiegato un trasformatore di tensione, il cosiddetto **trasformatore d'entrata**, che ha la funzione di elevare la debole tensione del segnale proveniente da un microfono o da altra sorgente analoga. I trasformatori d'entrata hanno di solito un rapporto di spire tra primario e secondario assai elevato, ossia in salita, allo scopo di elevare notevolmente la bassa tensione del segnale di ingresso.

L'uscita del secondo stadio amplificatore di tensione è accoppiata alla griglia dello stadio amplificatore di potenza mediante un trasformatore di tensione, chiamato **trasformatore intervalvolare.** Normalmente, i trasformatori intervalvolari hanno un rapporto di spire di uno a tre.

L'uscita dello stadio amplificatore di potenza viene chiusa su una resistenza di carico (che potrebbe essere, ad esempio, la bobina mobile di un altoparlante) attraverso un accoppiamento ottenuto mediante il cosiddetto **trasformatore d'uscita.** I trasformatori d'uscita sono trasformatori di potenza, poichè devono fornire la potenza relativamente elevata richiesta dal carico. Essi hanno generalmente un rapporto di trasformazione in discesa, poichè, riducendo la tensione d'uscita ottenuta dall'amplificatore di potenza, si ottiene lo scopo di aumentare la corrente fino al valore richiesto dal carico, adeguando così l'uscita stessa alle sue caratteristiche.

L'analisi di ciascuno dei tipi di trasformatori di accoppiamento sopra menzionati è facilitata ricorrendo allo studio di un *circuito equivalente* in cui si suppone presente un **trasformatore ideale**. Le proprietà di questo trasformatore ideale che ora descriveremo, ci serviranno poi per studiare il comportamento dei trasformatori reali.

IL TRASFORMATORE IDEALE

Si dice « trasformatore ideale » un trasformatore che non presenta alcuna perdita, ossia che non dissipa potenza. Ovviamente, non esiste in pratica un trasformatore che presenti tali caratteristiche, ma attraverso lo studio di un trasformatore ideale potremo analizzare con maggiore semplicità il funzionamento dei trasformatori reali (che in pratica si avvicinano molto ad esso). L'uso del concetto di trasformatore ideale permette di rappresentare un circuito equivalente a quello di un trasformatore vero: le perdite caratteristiche di quest'ultimo si immagina che avvengano in un semplice circuito totalmente separato dal trasformatore ideale stesso.

Diretta conseguenza della definizione di trasformatore ideale (e cioè senza perdite) è il fatto che il carico connesso ai capi del suo secondario riceve tutta la potenza che al primario viene applicata dal generatore (**figura 2**). La potenza di entrata P_e fornita dal generatore è eguale a $E_1 \times I_1$ e la potenza di uscita P_u è eguale a $E_2 \times I_2$. Poichè la potenza di entrata è eguale a quella di uscita, ne segue che $E_1 \times I_1$ è eguale a $E_2 \times I_2$.

In un trasformatore ideale, il rapporto tra la tensione presente ai capi del primario e quella presente ai capi del

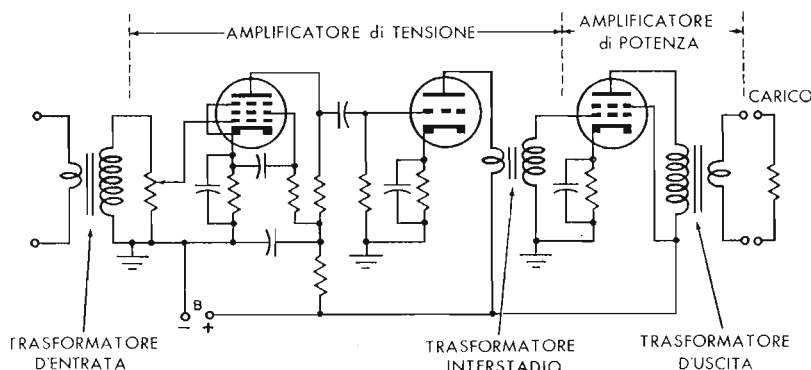



Fig. 1 — Amplificatore a tre valvole nel quale trovano impiego tre diversi tipi di trasformatori per Bassa Frequenza. Il rapporto di trasformazione dei primi due (entrata e intervalvolare) è in salita: essi agiscono in stadi amplificatori di tensione. Il rapporto dell'ultimo (uscita) è in discesa: stadio di potenza.

secondario è, ovviamente, eguale al rapporto tra il numero di spire del primario e quello del secondario. In simboli:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Se lo scopo di un trasformatore è unicamente quello di isolare elettricamente il circuito del primario da quello del secondario, allora il rapporto di spire è di uno a uno (si scrive 1 : 1). Se invece al secondario si vuole avere una tensione più bassa che al primario, il trasformatore ha un rapporto di spire $N_1 : N_2$ maggiore di uno (*in discesa*), mentre se si vuole una tensione più alta, il rapporto stesso è minore dell'unità (*in salita*).

Poichè il prodotto della tensione E per la corrente I è costante su entrambi i lati del trasformatore ideale (essendo $E_1 \times I_1$, come abbiamo visto più sopra, eguale ad $E_2 \times I_2$), se la tensione viene elevata, la corrente diminuisce, e viceversa. Il rapporto delle correnti è quindi l'inverso del rapporto delle tensioni, cioè:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{E_1}{E_2}$$

Il rapporto tra la tensione e la corrente del primario ($E_1 : I_1$) si denomina **impedenza riflessa dal secondario,** vista nel primario. Essa non è eguale all'impedenza reale del secondario. Chiariamo questo concetto con un esempio. Prendiamo in considerazione il circuito della figura 2-**A**, e supponiamo che ai capi del secondario del trasformatore sia presente una tensione (E_2) di 6 volt; essendo il carico (R_c) di 6 ohm, attraverso il circuito del secondario fluirà una corrente (I_2) di 1 ampère (6 : 6 = 1).

Indichiamo con n il rapporto (discendente) delle spire, e supponiamo in particolare che n sia $N_1 : N_2 = 20$. Il generatore quindi, alimenterà questo trasformatore ideale con tensione 20 volte maggiore di quella presente al secondario, ossia (20 × 6) con 120 volt; in conseguenza, la corrente sarà 20 volte minore (1 : 20), ossia sarà di 50 milliampère. Il generatore « vede » perciò una impedenza che, calcolata per mezzo della legge di Ohm, (120:0,05), risulta di 2.400 ohm. L'impedenza vista dal generatore è quindi 20^2 volte, ossia 400 volte maggiore di quella di carico (6 ohm). L'impedenza di 2.400 ohm, vista dal generatore si suole chiamare come abbiamo sopra accennato, « impedenza riflessa dal secondario sul primario » o, più brevemente, « impedenza riflessa ». In generale, l'impedenza riflessa vista dal generatore risulta dal prodotto dell'impedenza reale del secondario, moltiplicata per il quadrato del rapporto di spire n:

$$Z_1 = \frac{(N_1)^2}{N_2} Z_2 = n^2 Z_2$$

L'esempio precedente mostra che l'impedenza riflessa **è maggiore dell'impedenza di carico**, poichè essa viene riflessa ai capi del numero di spire del primario, che è maggiore del numero di spire del secondario. Nel caso invece del circuito di figura 2-**B**, essendo il trasformatore del tipo con rapporto di spire minore di uno, ossia in salita, l'impedenza riflessa vista dal generatore risulta **inferiore all'impedenza di carico**, poichè viene riflessa ai capi del primario costituito da un numero minore di spire.

TRASFORMATORI d'USCITA REALI

I cosiddetti « trasformatori d'uscita » si usano allo scopo di accoppiare l'ultimo stadio di un amplificatore al carico relativo, quale potrebbe essere ad esempio l'altoparlante. I trasformatori d'uscita reali differiscono dal trasformatore ideale per il fatto che il filo con cui si avvolge il primario ed il secondario ha, ovviamente, una resistenza finita, che, come tale, provoca una dissipazione di potenza. Nei trasformatori reali, le altre perdite, cioè quelle derivanti da correnti disperse e dall'isteresi, sono trascurabili rispetto alle perdite dovute alla resistenza degli avvolgimenti.

Il fatto che i trasformatori d'uscita più tipici presentino un rendimento compreso tra l'ottanta ed il novantacinque per cento rispetto al trasformatore ideale (che ovviamente presenta il 100%) fa sì che, calcolando l'impedenza riflessa secondo il metodo dianzi esposto, si introduca solo un piccolo errore. Quindi, per il calcolo dell'impedenza riflessa, si può considerare il trasformatore d'uscita come se fosse un trasformatore ideale, ossia come se avesse un rendimento del 100%.

Normalmente, sui trasformatori d'uscita in commercio non è indicato il rapporto delle spire, bensì le impedenze per le quali il trasformatore è stato progettato. Un trasformatore d'uscita, le cui caratteristiche intendono

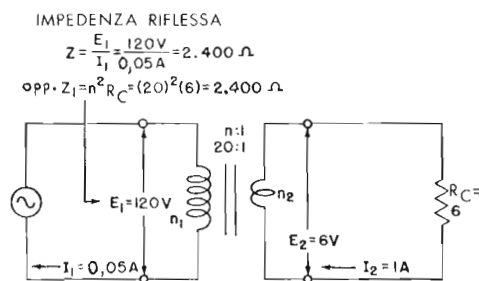



Fig. 2-A — Con un trasformatore a rapporto in discesa (20 : 1); l'impedenza che il carico del secondario (6 ohm) riflette sul primario è pari a detto carico moltiplicato il quadrato del rapporto delle spire ($6 \times 20^2 = 2.400$ ohm).

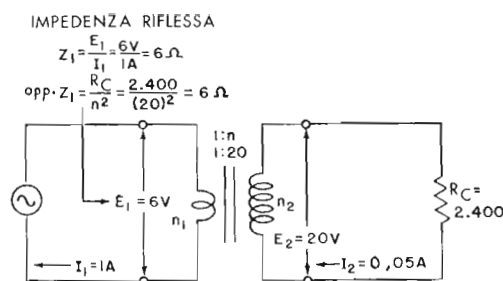



Fig. 2-B — Con un trasformatore a rapporto in salita (1 : 20), l'impedenza che il carico (2.400 ohm) riflette sul primario è pari al suo valore diviso il quadrato del rapporto di spire $2.400 : 20^2 = 6$ ohm).

avvicinarsi a quelle del trasformatore ideale di figura 2-A, viene indicato dallo schema di **figura 3-A**.

Talora, questi trasformatori sono costruiti con prese varie sugli avvolgimenti, in modo da renderne possibile l'impiego con rapporti diversi di impedenza. Così, ad esempio, il trasformatore d'uscita della figura 3-**B**, può essere usato sia con un carico di 6 ohm che con un carico di 15 ohm. Il carico, naturalmente, va connesso ai terminali numerati corrispondentemente; in entrambi i casi l'impedenza riflessa nel primario rimane a 2.400 ohm.

I trasformatori d'uscita vengono spesso erroneamente considerati solo come trasformatori adattatori d'impedenza. Un trasformatore d'uscita però non è necessariamente un adattatore d'impedenza. Il suo scopo principale è quello di fornire alla valvola amplificatrice di potenza quella *impedenza di carico* che è richiesta per ottenere la massima potenza d'uscita indistorta; per soddisfare questo requisito, l'impedenza riflessa vista dalla valvola non è eguale, di solito, alla resistenza interna della valvola stessa; quindi, esiste una diversità tra la resistenza interna di placca e l'impedenza riflessa del carico.

TRASFORMATORI INTERVALVOLARI

I trasformatori che vengono usati per accoppiare due stadi successivi di un amplificatore sono noti generalmente col nome di trasformatori intervalvolari. L'accoppiamento mediante trasformatore intervalvolare è, sotto alcuni aspetti già a suo tempo accennati, superiore agli altri tipi di accoppiamento. Anzitutto, il rapporto in salita delle spire consente allo stadio relativo un guadagno di tensione superiore al coefficiente di amplificazione della valvola; in secondo luogo, la tensione anodica occorrente non è necessariamente molto alta, poichè la caduta di tensione ai capi del primario del trasformatore è così piccola che quasi tutta la tensione disponibile risulta applicata alla placca della valvola; infine, il circuito può venire facilmente adattato ad un funzionamento in controfase, ciò che permette di ridurre sostanzialmente la distorsione.

Gli inconvenienti che un accoppiamento mediante trasformatore intervalvolare presenta sono invece i seguenti:

1) il costo di un trasformatore è superiore al costo degli elementi costituenti un circuito di accoppiamento R-C;

2) la caratteristica di risposta di un trasformatore in funzione della frequenza si estende su una banda relativamente ristretta, ed è per di più meno lineare di quella ottenuta con altri sistemi di accoppiamento;

3) i campi dispersi della corrente alternata esterni e prossimi al trasformatore inducono in esso facilmente tensioni di disturbo.

4) l'accoppiamento mediante trasformatore intervalvolare, per mantenere una curva di risposta sufficiente lineare, richiede una valvola amplificatrice con bassa resistenza di placca, quale potrebbe essere ad esempio un triodo (basso fattore di amplificazione).

La curva di risposta in funzione della frequenza, che già conosciamo, (**figura 4**), mostra l'andamento caratteristico di un amplificatore tipico con accoppiamento a trasformatore. Come si è visto a suo tempo, analizzandone i motivi, vi è una risposta assai uniforme nel tratto centrale, preceduta da una attenuazione graduale delle frequenze basse, seguita da un picco di risonanza nelle alte e, successivamente, da una rapida discesa.

CIRCUITO EQUIVALENTE di un TRASFORMATORE INTERVALVOLARE

Nell'analizzare un amplificatore con accoppiamento a trasformatore (**figura 5-A**), è utile basarsi sull'impiego di un trasformatore a rapporto di spire quanto più possibile elevato, mantenente, nello stesso tempo, basse perdite a tutte le frequenze.

Nel circuito equivalente del trasformatore, riportato alla **figura 5-B**, le perdite e l'elevamento di tensione sono rappresentate in due distinte parti del circuito: la parte cosiddetta *equivalente a T* ed il trasformatore ideale.

Nella parte equivalente a T, si hanno i componenti che causano tutte le perdite nel trasformatore reale; il trasformatore ideale è riportato solo per illustrare l'innalzamento di tensione. Considerate nell'insieme, le due parti costituiscono un circuito equivalente atto a rappresentare, con ottima approssimazione, il comportamento elettrico di un trasformatore intervalvolare a tutte le frequenze. La dimostrazione di ciò è piuttosto complessa ed esula dai nostri fini.

Il ramo in parallelo del circuito a T è costituito da un'induttanza, L_p, il cui valore è pressochè eguale a quel-

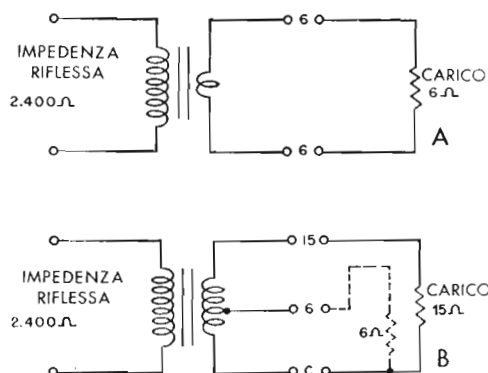



Fig. 3 — In A, trasformatore d'uscita corrispondente a quello ideale visto in figura 2-A: viene spesso indicato solo il rapporto delle impedenze. In B, trasformatore con due diversi valori di carico possibile.

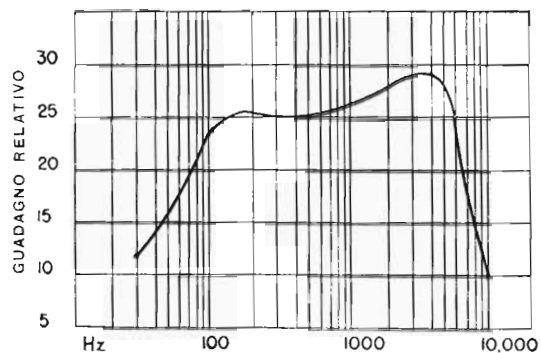



Fig. 4 — Curva rappresentante l'andamento delle risposte alle diverse frequenze in un amplificatore con accoppiamento a trasformatore. Il tratto uniforme è limitato alla zona centrale.

lo del primario del trasformatore. Il ramo in serie, a sinistra, è costituito dalla resistenza R_{pw}, corrispondente alla resistenza che l'avvolgimento primario presenta alla corrente continua. Il ramo di destra comprende invece due elementi: uno è R_{sw}/n^2, ossia la resistenza del secondario rispetto alla corrente continua, riflessa al primario, l'altro è l'induttanza dispersa riflessa del secondario, L_L.

L'induttanza dispersa — sappiamo — rappresenta quella parte del flusso magnetico totale di un trasformatore che non è concatenata nè col primario nè col secondario. Nei trasformatori intervalvolari, la quantità più rilevante di flusso disperso si ha nel lato che presenta il numero di spire più alto, ossia nel secondario. Questa induttanza dispersa è inevitabile, poichè in pratica è molto difficile accoppiare perfettamente un avvolgimento relativamente voluminoso con un nucleo piuttosto piccolo. Il flusso disperso relativo al primario, nei trasformatori intervalvolari, è invece così piccolo da poter essere trascurato, ed è per questo che non compare nel circuito a T.

Il condensatore C rappresenta, complessivamente, tutte le capacità presenti nel trasformatore, sia tra le spire che tra primario e secondario. I terminali d'uscita del circuito equivalente a T, alimentano il primario del trasformatore ideale.

La figura 5-B mostra che la tensione all'uscita del circuito a T è $-e_o/n$ ed appare al primario del trasformatore ideale. Il segno «meno» indica uno sfasamento di 180° (polarità invertita) nel trasformatore ideale.

Il comportamento di un trasformatore intervalvolare può venire studiato in modo simile a quello dell'accoppiamento R-C, analizzando la risposta alle frequenze alte, centrali e basse.

RISPOSTA dell'AMPLIFICATORE con ACCOPPIAMENTO a TRASFORMATORE

Guadagno alle frequenze centrali. Gli effetti di tutti gli elementi del circuito equivalente a T, per le frequenze centrali, sono trascurabili. Un esempio numerico servirà a chiarire questa affermazione. Il circuito equivalente a T di **figura 6-B** mostra il valore numerico delle reattanze a 1.000 Hz del circuito tipico di accoppiamento a trasformatore di figura 6-**A**. È chiaro che le impedenze dei due rami in serie sono trascurabili rispetto alle reattanze in parallelo di L_p e C. Peraltro, anche gli effetti delle reattanze in parallelo alle impedenze, sono trascurabili, essendo esse molto elevate rispetto alla resistenza interna r_p del generatore (10 kohm). Così, a 1.000 Hz, il circuito equivalente a T è trascurabile (**figura 7-A**), e l'intera tensione del generatore, $-\mu e_g$, appare ai capi del primario del trasformatore ideale; sicchè si ha:

$$-\mu e_g = -e_o/n$$

Il guadagno alle frequenze intermedie, A_M, si trova moltiplicando entrambi i membri di questa equazione per n (ottenendo $\mu n e_g = e_o$) e dividendoli successivamente per e_g. Il guadagno alle frequenze centrali è quindi:

$$A_M = \frac{e_o}{e_g} = \mu n$$

Questa equazione mostra che il guadagno in tensione alle frequenze intermedie di un amplificatore con accoppiamento mediante trasformatore intervalvolare è n volte maggiore del coefficiente della valvola, essendo n il rapporto di spire in salita. Per esempio, supponiamo che in un amplificatore ad un solo stadio sia usata una valvola 6C5 con un trasformatore a rapporto 1:3, in salita. Il μ della 6C5 è 20. Il guadagno dell'amplificatore alle frequenze intermedie è allora μn (20×3) ossia 60. Pertanto, applicando alla griglia della valvola un segnale di 1 volt (per frequenze della zona centrale della banda) si ottiene ai terminali del secondario del trasformatore una tensione di 60 volt.

La polarità o fase della tensione d'uscita di un amplificatore quale quello sopra descritto è la medesima della polarità all'ingresso, poichè sia la valvola che il trasformatore la invertono, rendendo nullo lo sfasamento totale.

Guadagno alle frequenze basse. La reattanza induttiva in parallelo del primario, L_p, (figura 6-A) non è trascurabile alle frequenze basse, poichè scende rapidamente al diminuire della frequenza del segnale applicato. Nella **figura 7-B**, abbiamo dunque rappresentata solo l'induttanza L_p essendo, per le ragioni anzi menzionate, pressochè nulla la corrente attraverso C; l'uscita del circuito equivalente a T è praticamente come un circuito aperto alle frequenze basse. Per questa ragione è possibile, alle frequenze basse, sostituire il secondo ramo in serie con un cortocircuito (figura 7-B), poichè, essendo minima la corrente che attraversa il condensatore, sarà

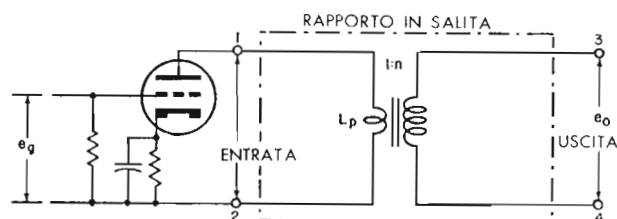



Fig. 5-A — Circuito interstadio a trasformatore preso in esame per l'analisi del comportamento a mezzo della rappresentazione di un « circuito a T equivalente » e di un « trasformatore ideale » raffigurati nell'illustrazione a lato.

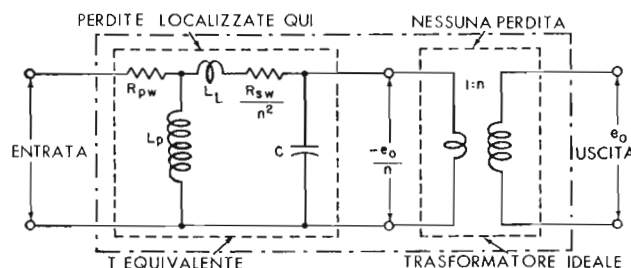



Fig. 5-B — Nel circuito a T equivalente sono rappresentati tutti gli elementi di perdita (R_{pw}; L_L; R_{sw}/n^2; C) del trasformatore, mentre ad indicare la pura e semplice trasformazione è raffigurato il « trasformatore ideale ».

pressochè nulla la caduta di potenziale ai capi di L_L ed R_{sw}/n^2. L'insieme di r_p, R_{pw} ed L_p funge da divisore della tensione applicata ai capi del generatore equivalente, $- \mu e_g$.

Una buona risposta alle frequenze basse si ottiene diminuendo la caduta di tensione in r_p e R_{pw}. Ciò richiede l'uso di un triodo avente una resistenza di placca bassa e di un trasformatore avente una dissipazione di corrente continua trascurabile.

Si può concludere che i valori permessi per l'induttanza e la resistenza di un trasformatore sono limitati dai requisiti richiesti alle frequenze alte e basse. Una induttanza molto bassa nel primario riduce il guadagno alle frequenze basse, mentre una induttanza molto elevata lo riduce, come ora vedremo, alle frequenze alte.

Guadagno alle frequenze alte. La reattanza dell'induttanza in parallelo del primario, L_p, (figura 6-A) aumenta con la frequenza (essendo $X_l = 2\pi fL$) e quindi, alle frequenze alte il suo effetto è trascurabile rispetto a quello della resistenza di placca, r_p. Ad esempio, la reattanza del primario, L_p, è di 125.000 ohm a 1.000 Hz (figura 6-B): se aumentiamo la frequenza fino a 10.000 Hz la reattanza sale a 1.256.000 ohm.

Per contro, la reattanza di C, che diminuisce con la frequenza ($X_c = 1/2\pi fC$), a 10 kHz è di soli 25.150 ohm. Si tratta quindi di un valore che non è più trascurabile, rispetto ad r_p.

Così, il circuito equivalente per le frequenze alte si riduce ad un circuito in serie costituito dalle resistenze r_p, R_{pw}, R_{sw}/n^2, dall'induttanza L_l e dalla capacità C (figura 7-**C**).

All'estremo alto della curva di risposta, la tensione ai capi di C sale, poichè L_L e C costituiscono un circuito risonante in serie. L'aumento della tensione ai capi di C dipende dal fattore Q del circuito. Nel circuito di figura 6-B, per esempio, la frequenza di risonanza del circuito L_L-C è di 20 kHz ed in conseguenza il Q, in condizioni di risonanza, è X_l diviso per la resistenza totale in serie (cioè $2\pi fL$ = 6,28 volte 20.000 volte 0,1) ossia 12.560:12.000, e risulta quindi eguale a 1,046. La tensione ai capi di C sale allora, in condizioni di risonanza, ad un valore pari a 1,046 volte quello delle frequenze centrali, ed a frequenza lievemente inferiore, ad un valore ancora più alto (osservare l'andamento della curva in figura 4).

Oltre la risonanza, la risposta cade rapidamente al salire della reattanza X_{LL}, ed alla discesa della reattanza di C. L'impiego di un pentodo, caratterizzato dall'alto valore della resistenza dinamica di placca, abbassa il Q del circuito alla frequenza di risonanza in serie; pertanto, la risposta alle frequenze elevate cade rapidamente, e non vi è picco nella curva relativa al responso di un pentodo accoppiato a trasformatore.

L'analisi che abbiamo fatto dimostra che la risposta di un amplificatore con accoppiamento mediante trasformatore, alle frequenze elevate scende al salire del valore di C, poichè la frequenza di risonanza più bassa risultante diminuisce il Q effettivo e porta ad una discesa più rapida della curva. Per ottenere un buon comportamento dell'amplificatore alle frequenze alte è necessario un basso valore di C: poichè C dipende dalle dimensioni dell'avvolgimento, in questo caso è necessario un primario di piccole dimensioni. Ciò è in contrasto col requisito occorrente per una buona amplificazione alle frequenze basse, ossia un'induttanza elevata del primario. Di solito si risolve questo problema scegliendo una via di mezzo.

RISPOSTA di un TRASFORMATORE d'USCITA

Il circuito equivalente del trasformatore d'uscita illustrato alla **figura 8**, differisce anzitutto dal circuito equivalente di un trasformatore intervalvolare essenzialmente per il motivo che un trasformatore d'uscita ha in genere un rapporto di spire discendente. Differisce poi nel fatto che l'induttanza dispersa appare in esso praticamente solo nel primario, data la sua più elevata induttanza di avvolgimento. Le capacità vengono trascurate e non riportate in disegno, poichè la reattanza relativa appare come basso valore di C diviso per n^2 in parallelo all'uscita del circuito a T.

Ad esempio, il rapporto di spire di un trasformatore tipico d'uscita è 30:1 e la capacità C nel circuito a T equivalente, appare divisa per 30^2, ossia per 900, risultando pertanto trascurabile nel suo effetto.

Il picco di risonanza ottenuto nei trasformatori intervalvolari è, in conseguenza di quanto sopra, assente nei trasformatori d'uscita, e la curva di risposta è perciò simmetrica su entrambi i lati delle frequenze centrali. Si tratta quindi di una curva di risposta del tipo di quella che si ottiene con un accoppiamento R-C (**figura 9**).

Una buona risposta alle frequenze basse si può otte-

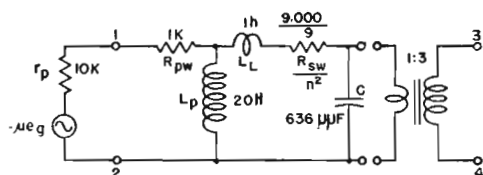



Fig. 6-A — Circuito di accoppiamento a trasformatore con indicazione dei valori tipici dei diversi elementi. Nella figura a fianco detti valori sono rappresentati per i loro effetti reattivi alla frequenza di 1.000 Hertz.

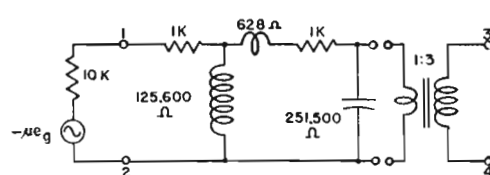



Fig. 6-B — Alla frequenza media di 1.000 Hertz le impedenze dei due rami in serie, come si vede, sono trascurabili rispetto alla reattanza di L_p e di C in parallelo. Anche gli effetti di questi ultimi sono però trascurabili in considerazione del basso valore della resistenza interna del generatore.

nere adottando un'alta induttanza, L_p, per il primario, mentre una buona risposta alle frequenze alte si può ottenere con una bassa induttanza dispersa, L_L. Come nel caso dei trasformatori intervalvolari, non è possibile ottenere contemporaneamente questi due requisiti, che sono in antitesi perchè un'ampia induttanza primaria dà luogo ad una notevole induttanza dispersa che a sua volta riduce il responso nelle frequenze alte: si ricorre dunque, anche qui, ad un compromesso.

LA COSTRUZIONE di un TRASFORMATORE per B.F.

Quanto abbiamo sin qui esposto ha messo certamente nella dovuta evidenza che il fattore essenziale di differenziazione tra i trasformatori di alimentazione e quelli destinati all'amplificazione sta nella considerazione nella quale deve essere tenuto il problema della frequenza. Così, se ci si deve accingere alla costruzione di trasformatori audio, occorre soprattutto aver presente che il risultato da raggiungere consiste nel non compromettere alcuna particolare zona di frequenza.

Non ripetiamo qui quanto già è stato riferito alle lezioni 37ª e 38ª illustrando la costruzione dei trasformatori: tutte le norme enunciate, tutti gli accorgimenti, la procedura e le diverse considerazioni di ordine costruttivo sono pienamente valide. Avendosi comunque a che fare con circuiti ove il fattore determinante è l'impedenza, sarà proprio da questo dato che verrà elaborato il progetto del trasformatore audio.

Sarà opportuno stabilire, anzitutto, il valore di impedenza che primario e secondario devono presentare. Noto ciò, sarà elaborato il numero di spire dei diversi avvolgimenti. È bene precisare subito che il rapporto tra le impedenze non è eguale a quello tra le spire, bensì al quadrato di tale rapporto. In altre parole, Z_p, impedenza del primario è eguale a:

$$Z_p = Z_s \times \left(\frac{N_p}{N_s}\right)^2$$

dove Z_s è l'impedenza del secondario, N_p il numero di spire primarie ed N_s quello delle spire secondarie. Analogamente abbiamo:

$$Z_s = Z_p \times \left(\frac{N_s}{N_p}\right)^2$$

È ovvio che il numero di spire da adottare dipende anche della sezione del nucleo, la quale è in stretta relazione, come ben sappiamo, con la potenza in giuoco. In questo campo le potenze (salvo casi speciali = trasformatori d'uscita di amplificatori o trasformatori di modulazione) sono piuttosto basse: avremo, di conseguenza, nuclei piuttosto piccoli, non però al punto tale da compromettere per scarsa induttanza risultante nell'avvolgimento, le frequenze basse.

Stabilita la sezione del nucleo, note le impedenze da ottenere (che dipendono dalle valvole e dai carichi) stabiliremo il numero di spire ricorrendo a questa formula:

$$N_p = \frac{E_{bb} \times 10^8}{4{,}5 \times 10.000 \times S \times f}$$

dove E_{bb} è il valore della tensione di alimentazione anodica relativa alla valvola alla quale il primario del trasformatore va connesso, S è la sezione del nucleo in cm², f è la frequenza più bassa che si vuole amplificare senza attenuazione.

Riteniamo che un esempio pratico di calcolo possa meglio di ogni altra cosa illustrare la procedura. Supponiamo perciò di dover costruire un trasformatore d'uscita il cui compito consista nel trasferire la potenza della valvola finale di un ricevitore al carico rappresentato dalla « bobina mobile » dell'altoparlante.

Le caratteristiche di funzionamento della valvola ci diranno quanta potenza essa è in grado di erogare: normalmente lo stadio finale di un ricevitore adotta un pentodo che può fornire circa 3,5 watt di Bassa Frequenza. Per una tale potenza la sezione netta del nucleo (applicheremo la formula già indicata a pagina 298 ma maggiorando il fattore di moltiplicazione da 1,5 a 2) sarà:

$$2\sqrt{3{,}5} = 3{,}74 \text{ cm}^2$$

L'abaco di pagina 307 in questo caso non può esserci utile, sia perchè prende in considerazione solo potenze superiori ai 4 watt, sia perchè previsto essenzialmente per trasformatori di alimentazione.

Alla sezione netta di 3,74 cm² aggiungeremo un 10% circa (impiego dei lamierini da 0,35 mm di spessore) ed otterremo 4,1 cm² come sezione lorda, ossia reale, da raggiungere nel formare il pacco. Ciò significa che con un lamierino a colonna centrale di 16 mm, ad esempio, si dovrà raggiungere uno spessore del pacco di cm 2,6 (41 : 16 = 2,6 arrotondato).

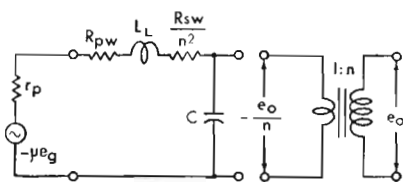



Fig. 7-A — In considerazione di quanto osservato alle due figure precedenti si può rappresentare così l'equivalente del circuito a trasformatore (e cioè col solo trasformatore ideale) per quanto si riferisce alle frequenze medie.

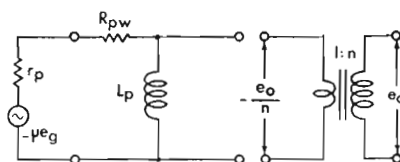



Fig. 7-B — Per le frequenze basse entra in giuoco la reattanza induttiva, L_p, del primario. L'effetto di C è trascurabile e, di conseguenza lo è anche la caduta dovuta ad R_{sw}/n^2 e ad L_L. Per una buona risposta occorre un basso valore di r_p e di r_{pw}.

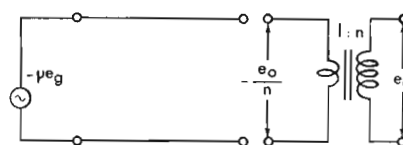



Fig. 7-C — Per le frequenze alte l'effetto di L_p è trascurabile: è molto importante invece la reattanza capacitiva di C. Il circuito, per tali frequenze si riduce ad un circuito in serie comprendente r_p, R_{pw}, R_{sw}/n^2, L_L e C. Ad un certo punto si verifica la risonanza ad opera di L_L e C.

La formula atta a stabilire il numero di spire prende in consisderazione, come abbiamo visto, la frequenza limite dal lato delle frequenze basse (detta frequenza inferiore di taglio). Trattandosi di un ricevitore di esigenze medie si stabilità tale frequenza a 50 Hertz: sarebbe inutile considerare ad esempio la frequenza di 20 Hz, quando l'altoparlante impiegato non fosse in grado, per le sue limitate dimensioni, di riprodurla. Diremo perciò che il valore della frequenza da applicare nella formula sarà di 20 Hz per esigenze di alta fedeltà, di 50 Hz per esigenze medie e di 100 Hz per apparecchi economici ad altoparlante molto piccolo.

Il progetto di ricevitore dirà con quale tensione anodica la valvola finale (alla quale va connesso il nostro trasformatore) deve funzionare. I dati caratteristici della valvola diranno quale impedenza anodica necessita per il funzionamento con detta tensione.

Solitamente si usufruisce di una tensione di 250 volt ed il carico ottimo di impedenza per un pentodo finale è quasi sempre di 7.000 ohm.

Siamo così in possesso di tutti i dati necessari allo svolgimento della formula che ci indica il numero di spire ricercato. Applicandoli, avremo:

$$N_p = \frac{250 \times 10^8}{4,5 \times 10.000 \times 3,74 \times 50} = \frac{25.000.000.000}{8.415.000} = 2970 \text{ spire}$$

La sezione del filo per questo avvolgimento di 2970 spire dipende dalla corrente che lo attraversa: potremo senz'altro prendere come dato utile il valore citato dal costruttore della valvola come corrente anodica. Per un pentodo finale si riscontra assai spesso una intensità di 36 milliampère. Adotteremo un carico per il rame, di 2,5 A per mm² il che — con l'ausilio della tabella 54, pagina 309 — indica l'adozione di un filo da 0,14 mm di diametro.

Ora ci rimane da ricavare il numero di spire del secondario. Abbiamo supposto che il trasformatore abbia il compito di alimentare la bobina mobile di un altoparlante: come è noto, si tratta di un avvolgimento di pochissime spire la cui impedenza viene per praticità calcolata pari alla sua resistenza ohmica. Solitamente si hanno valori da 2 a 4 ohm: noi prendiamo ad esempio il valore di 3,2 ohm che corrisponde a quello di molti altoparlanti in commercio. Il trasformatore deve adattare quindi 7.000 ohm a 3,2 ohm: già abbiamo avvisato che il rapporto tra le impedenze non è eguale a quello tra le spire bensì al quadrato di esso. Ne consegue che, per inverso, la radice quadrata del rapporto tra le impedenze indicherà il rapporto tra le spire.

Nel nostro caso, allora:

$$k = \sqrt{\frac{Z_p}{Z_s}} = \sqrt{\frac{7.000}{3,2}} = \sqrt{2.187} = 46,7$$

Noto k rapporto tra le spire, è facile, dividendo 2970 (spire primarie) per 46,7 (rapporto), conoscere il numero di spire secondarie: esso sarà di 63 cui però aggiungeremo un 10% per supplire alle perdite in genere, ed avremo 69,3 spire, arrotondate a 70.

Per conoscere la sezione del filo dell'avvolgimento secondario ci basterà ricavare la corrente che lo percorre; sarà data dalla formula:

$$I = \sqrt{\frac{W}{Z_s}}$$

che applicata al nostro caso diventa:

$$I = \sqrt{\frac{3,5}{3,2}} = \sqrt{1,09} = 1,04$$

vale a dire 1 ampère. Per 1 ampère necessita filo da 0,70 (tabella 54).

Occorre aggiungere che, se uno degli avvolgimenti del trasformatore è percorso — oltre che dalla corrente del segnale — da una componente continua (la corrente anodica della valvola), per evitare che il campo magnetico costante da essa creato porti il nucleo al punto di saturazione, è necessario interrompere il circuito magnetico con l'introduzione di un traferro. Ciò abbiamo già visto alla lezione 44ª.

Il valore dell'impedenza del primario è strettamente legato allo spessore di detto traferro; un calcolo esatto si presenta problematico, per l'influenza della frequenza e della sezione del pacco lamellare.

Il metodo più razionale per determinare lo spessore, sarebbe quello di misurare — mediante un « ponte di misura » — l'impedenza riferita alle varie frequenze, e con vari spessori di traferro, ma non è un metodo pratico. In pratica, si inserisce tra le due superfici in contatto del pacco di lamierini ad « M » e del pacco di lamierini ad « I », una strisciolina di carta di spessore di pochi decimi di millimetro.

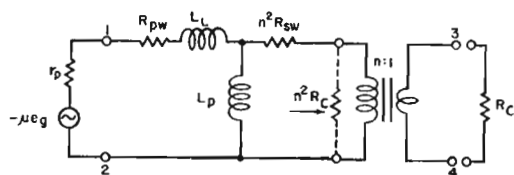



Fig. 8 — Nel caso di un trasformatore d'uscita l'induttanza dispersa appare solo nel primario e le reattanze capacitive sono anch'esse trascurabili: non figura, perciò, il picco di risonanza che si è visto esservi nei trasformatori intervalvolari. Si adotta un compromesso per il valore di L_p, tale da portare ad un responso egualmente suddiviso nella gamma di frequenze.

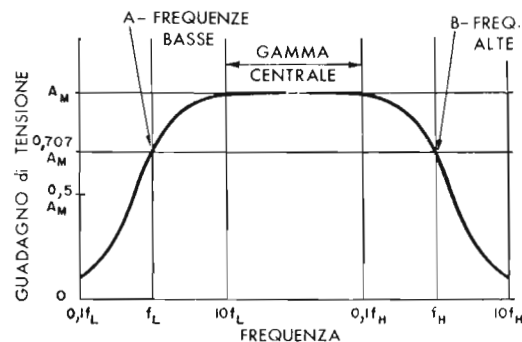



Fig. 9 — Curva relativa ad un trasformatore d'uscita: è simile a quella di un accoppiamento RC. A e B indicano due livelli a metà potenza.

CALCOLO di un TRASFORMATORE INTERVALVOLARE per « PUSH-PULL »

Riportiamo ora un secondo esempio di calcolo: è riferito ad un trasformatore di accoppiamento tra una valvola del tipo 6V6GT, ed un « push-pull » di EL34 (in classe AB_2). Uno schema del genere è visibile a pagina 436 (figura 9-B). Si è detto che la valvola pilotante due pentodi in controfase deve essere preferibilmente un triodo: la valvola 6V6GT verrà perciò usata collegando lo schermo alla placca, e diventerà così una valvola a tre elettrodi.

I dati relativi alla EL34 indicano una potenza massima d'uscita di 35 watt; per fornire tale potenza occorre alle griglie un segnale massimo di 21 volt (tra ogni griglia e massa). Il secondario del nostro trasformatore deve quindi essere in grado di fornire, a pieno regime, una tensione totale di 42 volt, ossia 2×21 rispetto alla presa centrale.

Collegata a triodo, la 6V6GT ha un coefficiente di amplificazione di 9,8. Per avere una bassa resistenza nel circuito di griglia delle valvole finali, adotteremo un trasformatore con rapporto totale di 1:1 (1:0,5 per ogni singola sezione). Ai capi del primario perciò deve manifestarsi una tensione di segnale pari a quella necessaria ai capi del secondario a pieno regime (42 volt).

Il segnale alla griglia della 6V6GT sarà pari a quello d'uscita diviso per il coefficiente di amplificazione, ossia 42:9,8 = 4 volt circa.

Nel caso del trasformatore interstadio, non si può parlare di una vera e propria potenza di uscita; per il calcolo della sezione del nucleo, si sceglie una sezione arbitraria, maggiore di quella strettamente necessaria. Ciò offre due vantaggi: fa lavorare il nucleo in condizioni molto lontane da quelle di saturazione, e, in secondo luogo, consente di ottenere il valore di impedenza necessario con un numero ridotto di spire, a tutto vantaggio della bassa resistenza ohmica.

Ci baseremo — in questo caso — su una potenza di 5 watt. La sezione del nucleo sarà pari a:

$$S_n = 2\sqrt{5} = 4{,}5 \text{ (circa)}$$

Tale valore, aumentato del 10%, ed arrotondato, dà una sezione lorda di 5 cm².

Il numero delle spire primarie verrà ricavato come segue:

$$N_p = \frac{250 \times 10^8}{4{,}5 \times 10.000 \times 5 \times 50}$$

La tensione anodica della 6V6GT è di 250 volt; il calcolo viene effettuato in riferimento alla frequenza inferiore di taglio di 50 Hz. Il valore risultante è:

$$N_p = 2.200 \text{ spire circa.}$$

La corrente anodica della 6V6GT, collegata a triodo, ammonta a 49,5 mA: di conseguenza, il conduttore per l'avvolgimento (2,5 ampère per cm²) avrà un diametro di 0,16 mm (tabella 54).

Determiniamo ora il numero delle spire secondarie. Il rapporto di trasformazione totale è 1:1; il secondario dovrebbe avere un numero di spire pari a quelle del primario, ma detto numero viene aumentato del 10% per compensare le perdite. Avremo dunque 2.200+220=2.420 spire, con presa centrale. Agli effetti della sezione del conduttore, essendo minima la corrente circolante (peraltro, essa si manifesta solo in corrispondenza dei picchi positivi del segnale), non vi è riferimento a valore di corrente. Dovremo però contenere al minimo la resistenza ohmica del secondario stesso. È consigliabile perciò adottare la stessa sezione usata per l'avvolgimento primario.

Nel primario è presente una corrente continua ed è perciò necessaria la presenza di un traferro nel circuito magnetico del nucleo. Ci si regolerà come accennato a proposito del trasformatore d'uscita dell'esempio precedente.

Aggiungiamo che l'avvolgimento di questo tipo di trasformatore deve essere tale da presentare minime perdite, onde favorire la linearità di responso.

Un buon sistema consiste nell'avvolgere il trasformatore in tre sezioni separate, in modo che il primario si trovi in centro tra le due sezioni del secondario. Ciò può essere effettuato costruendo per l'avvolgimento una carcassa che, oltre alle due fiancate laterali, abbia anche due fiancate intermedie. Tra queste due verrà avvolto il primario, e nelle due laterali troveranno posto le due sezioni del secondario. Le sezioni vengono ad essere avvolte con eguale sviluppo della lunghezza del rame, il che si traduce in una eguale resistenza ohmica. Tenendo conto della sia pur debole caduta di tensione che si manifesta a causa della corrente di griglia presente durante i picchi positivi del segnale, tale provvedimento consente di « bilanciare » il secondario, ed ottenere un segnale d'uscita uniforme.

AUTOTRASFORMATORI

Nelle lezioni 37ª, 38ª e 39ª abbiamo esaminato a fondo l'argomento dei trasformatori di alimentazione, il loro calcolo e la loro costruzione. Esiste tuttavia un altro tipo di trasformatore, funzionante su principi del tutto analoghi, ma sostanzialmente diverso, specie nei confronti del calcolo relativo alle potenze in gioco, e quindi alle caratteristiche dimensionali.

Si tratta dell'**autotrasformatore,** già citato in varie occasioni.

L'autotrasformatore non è che *un trasformatore provvisto di un unico avvolgimento,* ed in grado di erogare varie tensioni con varie correnti, a seconda delle caratteristiche elettriche del carico applicato in uscita.

Da ciò è facile comprendere che, mediante tale dispositivo, è possibile convertire un valore di tensione in un altro, senza peraltro creare necessariamente due circuiti isolati tra loro elettricamente, come avviene con i comuni trasformatori.

Come si nota osservando la **figura 1 A** e **B**, un autotrasformatore è un avvolgimento effettuato su di un nucleo ferromagnetico, provvisto di almeno una presa intermedia. Le prese intermedie possono essere in qualsiasi numero, a seconda delle esigenze, ossia delle possibilità di trasformazione richieste al dispositivo.

La caratteristica più importante dell'autotrasformatore è che, pur avendosi in realtà un trasformatore, non si hanno più due o più avvolgimenti separati, uno dei quali funge da primario — mentre l'altro, o gli altri, rendono disponibili le tensioni in esso indotte grazie al campo magnetico della corrente primaria — bensì si ha un unico avvolgimento, una parte del quale è comune tanto al circuito primario quanto al circuito secondario.

Ovviamente, anche nell'autotrasformatore le tensioni primarie e secondarie sono direttamente proporzionali al numero delle spire: di conseguenza, se una tensione primaria di 100 volt viene applicata — ad esempio — ai capi di una parte dell'avvolgimento costituita da 100 spire, la tensione presente ai capi di una parte dell'avvolgimento costituita da 150 spire ammonterà a 150 volt.

Una seconda caratteristica dell'autotrasformatore, comune a quella dei normali trasformatori, è che esso può funzionare sia come elevatore di tensione che come riduttore.

Nel primo caso, la tensione primaria, normalmente rappresentata dal simbolo E_p, è minore della tensione secondaria, E_s, e viceversa.

L'autotrasformatore presenta, nei confronti del trasformatore, alcuni vantaggi ed alcuni inconvenienti: esaminiamo innanzitutto i vantaggi.

La figura 1 A rappresenta schematicamente un autotrasformatore elevatore, nel quale, supponiamo, il rapporto di trasformazione sia 1,5. Ciò significa che il numero delle spire secondarie ammonta esattamente da 1,5 volte il numero delle spire primarie.

Supponiamo che ai capi del primario, avente un numero di spire adeguato, venga applicato un generatore che fornisca una tensione di 100 volt, e che ai capi del secondario non sia applicato alcun carico. Si dice — in tal caso, così come per il trasformatore — che il dispositivo funziona « a vuoto ».

Pur non essendovi alcun carico che consumi l'energia disponibile, il primario costituisce tuttavia un circuito chiuso nei confronti della tensione di alimentazione. Trattandosi naturalmente di corrente alternata, esso oppone e detta tensione una certa impedenza, il cui valore, come sappiamo, determina l'intensità della corrente che lo percorre.

La corrente che circola in assenza di carico al secondario viene rappresentata dal simbolo I_o. Come abbiamo appreso nello studio della teoria del trasformatore, la corrente alternata che percorre un avvolgimento crea un campo magnetico variabile, il quale induce una tensione alternata di eguale frequenza, di intensità inversamente proporzionale alla tensione, e di polarità opposta, in qualsiasi avvolgimento accoppiato induttivamente al campo magnetico. Di conseguenza, sia nella parte di avvolgimento estranea a quella considerata come primario, che nel primario stesso, viene indotta una tensione, e quindi una corrente avente polarità opposta.

Supponiamo ora che al secondario, ossia, nel nostro caso, ai capi dell'intero avvolgimento, venga applicato un carico che, per funzionare regolarmente, necessita di una tensione di 150 volt. Tale è la tensione disponibile grazie al rapporto di trasformazione di 1,5; l'intensità di corrente sarà naturalmente proporzionale, in base alla potenza dell'autotrasformatore ed alle caratteristiche intrinseche del carico.

Considerando il solo circuito secondario, sappiamo che in esso circola la corrente I_s richiesta dal carico, e sappiamo che detta corrente (considerata nei suoi valori istantanei) ha una certa polarità. Per contro, nel circuito primario, scorrono **due** correnti: una è I_o, che scorre sia con che senza l'applicazione del carico, e l'altra è I_p

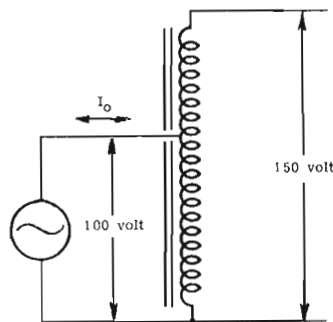



Fig. 1-A — Caso dell'autotrasformatore elevatore. La tensione primaria è minore della tensione secondaria. I_0 rappresenta la corrente a vuoto.

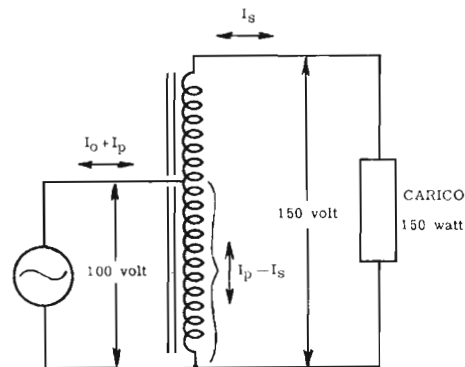



Fig. 1-B — Applicando un carico adeguato, nel tratto comune ai due circuiti la corrente è pari alla differenza tra le correnti primaria e secondaria.

(corrente primaria), richiamata a causa della dissipazione di una certa potenza nel secondario.

I_0 ed I_p sono in fase tra loro, per cui i loro valori *si sommano e costituiscono la corrente primaria totale*. Viceversa, la corrente I_s, che scorre anche nel tratto di avvolgimento comune al circuito primario, viene ad èssere in ogni valore istantaneo sfasata di 180° rispetto alla corrente primaria I_p. Essendo dunque la polarità nettamente opposta, *le due intensità si sottraggono l'una dall'altra*. Ne consegue, che la corrente che circola nella parte di avvolgimento comune al circuito primario ed al circuito secondario **non è altro che la differenza tra le due correnti I_p ed I_s.**

Vediamo ora come può essere esaminato questo fenomeno da un punto di vista quantitativo. Supponiamo che il carico dissipi una potenza di 150 watt. Tale dunque deve essere la potenza dissipata nel circuito primario. Dal momento che la potenza equivale al prodotto tra la tensione e la corrente, sappiamo che la corrente secondaria I_s può essere ricavata dalla nota formula:

$$I_s = \frac{\text{Potenza sec.}}{\text{Tensione sec.}} = \frac{150}{150} = 1 \text{ ampère.}$$

Il medesimo calcolo può essere effettuato per calcolare la corrente primaria: infatti, poichè la potenza dissipata al primario è sempre di 150 watt, per la medesima formula avremo che:

$$I_p = \frac{150}{100} = 1{,}5 \text{ ampère.}$$

In teoria dunque, abbiamo una corrente di 1 ampère nel circuito secondario, ed una corrente di 1,5 ampère nel circuito primario. Abbiamo però osservato poc'anzi, che le due correnti sono in opposizione di fase, e che quindi si sottraggono: di conseguenza, nella parte dell'avvolgimento comune ai due circuiti, ossia nell'intero primario, avremo il passaggio di una corrente pari a $1{,}5 - 1 = 0{,}5$ ampère.

Possiamo quindi affermare che, agli effetti della realizzazione, la parte di avvolgimento comune ai due circuiti può essere avvolta con un conduttore più sottile di quello che sarebbe necessario se i due avvolgimenti fossero separati. Ciò costituisce uno dei più evidenti vantaggi dell'autotrasformatore.

Consideriamo ora il caso opposto, della **figura 2 A**. La figura rappresenta un autotrasformatore del tutto analogo al precedente, con la sola differenza che esso agisce da riduttôre invece che da elevatore. In altre parole, disponiamo — in questo caso — di una tensione primaria di 150 volt, e desideriamo ottenere al secondario una tensione di 100 volt. Il rapporto tra le tensioni (che equivale — come ben sappiamo — al rapporto tra le spire) è pari a $100:150 = 0{,}66$ circa. In tali condizioni, il numero delle spire secondarie equivale a 0,66 volte il numero delle spire primarie.

Supponiamo che — anche in questo caso — la potenza dissipata dal carico applicato al secondario ammonti a 150 watt (vedi figura 2 **B**). Usufruendo sempre della medesima formula, apprendiamo che la corrente secondaria ammonta a 1,5 ampère, mentre la corrente primaria ammonta ad 1 ampère. Ci troviamo quindi nelle medesime condizioni; anche nel caso del trasformatore riduttore la corrente circolante nel tratto di avvolgimento comune ai due circuiti equivale alla differenza tra le due correnti in gioco.

Se si considera a fondo questo fenomeno si rivela una situazione apparentemente assurda: in entrambi i casi, la parte di avvolgimento comune ai due circuiti fa parte di un circuito (primario nel primo caso e secondario nel secondo) nel quale scorre una corrente di 1,5 ampère. Ciò nonostante, pur essendo l'avvolgimento in serie al circuito stesso, esso viene percorso da una corrente minore. Il fenomeno si spiega soltanto se si considera che le due correnti che passano attraverso il conduttore contemporaneamente, si neutralizzano, in parte, a vicenda, proprio per il fatto che scorrono in senso opposto. Ciò non impedisce tuttavia che ogni elettrone interessato sviluppi la sua quantità di energia magnetica.

Per questo motivo sorge, nel campo dell'autotrasformatore, un nuovo concetto di potenza: la **potenza di trasformazione**, rappresentata dal simbolo P_t.

Dal momento che la potenza è data dal prodotto tra tensione e corrente, e che una parte della corrente in gioco esiste solo in teoria, mentre in realtà viene neutralizzata, è logico che la potenza effettiva in base alla quale vengono stabilite le dimensioni del nucleo, e quindi quelle dell'intero autotrasformatore, siano diverse da quelle che si avrebbero se il primario ed il secondario fossero separati.

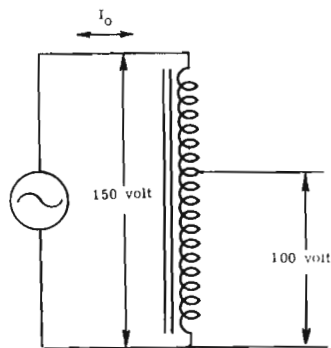



Fig. 2-A — Caso dell'autotrasformatore riduttore. La tensione primaria è maggiore della tensione secondaria. Esiste sempre una corrente a vuoto.

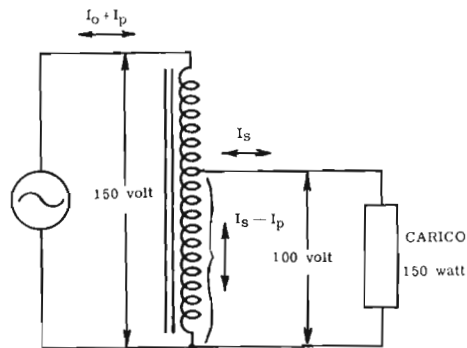



Fig. 2-B — Anche in questo caso la corrente nel tratto comune è pari alla differenza tra le due. Essa però è pari a I_s-I_p, e non a I_p-I_s.

Il fatto che una parte dell'avvolgimento viene percorsa da una corrente minore di quella che circola nel circuito esterno, e che la potenza in gioco è minore di quella effettivamente dissipata, consente di realizzare l'autotrasformatore in dimensioni minori di quelle occorrenti in un trasformatore (ad avvolgimenti separati) avente le medesime caratteristiche elettriche. Ciò costituisce il secondo vantaggio.

Gli inconvenienti dell'autotrasformatore — per contro — sono essenzialmente due: innanzitutto, oltre un certo limite del rapporto di trasformazione, il suo impiego non è più conveniente. In pratica, si preferisce realizzare un trasformatore con avvolgimenti separati, allorchè il rapporto di trasformazione è superiore a 4 dato che, in tali condizioni, come è facile verificare, l'economia caratteristica dell'autotrasformatore non sussiste più. Inoltre, gli impulsi di extracorrente all'atto della chiusura e dell'apertura del circuito raggiungono valori tali da rendere necessarie particolari caratteristiche di isolamento, talmente spinte da compromettere le dimensioni effettive. In secondo luogo, dal momento che il primario ed il secondario sono tra loro in contatto diretto, non è possibile isolare elettricamente il circuito di utilizzazione da quello di alimentazione, come avviene invece con i trasformatori: tale isolamento è a volte opportuno perchè, altrimenti, l'apparecchiatura alimentata risulta in contatto diretto con la rete così che le sue parti metalliche (chassis) possono essere pericolose da toccare.

Il campo di impiego degli autotrasformatori è piuttosto vasto: essi servono nei laboratori dove si progettano o si riparano apparecchiature elettroniche, per consentire il funzionamento di apparecchi funzionanti con una tensione di rete diversa da quella disponibile, o per compensare momentaneamente eventuali variazioni della tensione di rete, ecc.

Per quanto essi siano disponibili in commercio in una grande varietà di tipi e di caratteristiche, è certamente utile esporne il sistema di calcolo, così come a suo tempo è stato fatto nei confronti dei trasformatori di alimentazione.

CALCOLO degli AUTOTRASFORMATORI

Come abbiamo precedentemente accennato, un autotrasformatore deve poter funzionare sia come elevatore di tensione che come riduttore. In ogni caso — però — esiste una caratteristica funzionale che resta costante: la potenza disponibile al secondario.

Una volta stabilita la potenza massima di cui si desidera disporre nel circuito secondario, è possibile effettuare rapidamente il calcolo della potenza di trasformazione, il cui valore serve per il dimensionamento del nucleo magnetico e — di conseguenza — dell'intero dispositivo.

Agli effetti pratici, possiamo considerare i due casi, e precisamente:

1) Autotrasformatore *elevatore di tensione*.

In questo caso la potenza di trasformazione è data da:

$$P_t = \text{Potenza di uscita } \left(1 - \frac{\text{Tensione di entrata}}{\text{Tensione di uscita}}\right)$$

2) Autotrasformatore *riduttore di tensione*.

In questo caso la potenza di trasformazione è data da:

$$P_t = \text{Potenza di uscita } \left(1 - \frac{\text{Tensione di uscita}}{\text{Tensione di entrata}}\right)$$

Come si è detto poc'anzi, la potenza di trasformazione è il valore che caratterizza l'autotrasformatore che si desidera costruire, in quanto è sulla sua base che vengono determinate le dimensioni del nucleo. Dal momento che il rapporto $E_p:E_s$ nel primo caso, ed $E_s:E_p$ nel secondo è sempre — come vedremo — minore di 1, la potenza di trasformazione equivale sempre al prodotto tra la potenza di uscita (quella cioè che deve essere disponibile al secondario) ed un numero costituito dall'unità, dal quale viene però sottratto un numero anch'esso inferiore all'unità. Ne consegue che P_t è sempre inferiore alla potenza d'uscita, il che va a tutto vantaggio delle dimensioni di ingombro, e — per riflesso — del peso e del costo.

Incidentalmente, è opportuno rilevare che, se ammettiamo che il peso del rame necessario per la realizzazione di un dato avvolgimento sia proporzionale al prodotto tra il numero delle spire ed il valore di intensità della corrente che circola in esse, il rapporto tra tale prodotto in un autotrasformatore, e quello relativo al numero di spire ed alla corrente nei confronti di un trasformatore che consenta le medesime prestazioni, mette in evidenza il vantaggio economico consentito dall'autotrasformatore stesso.

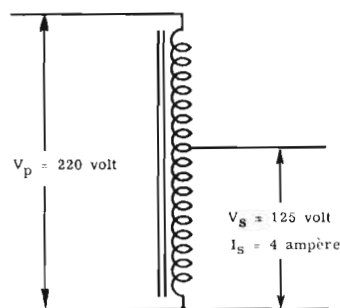



Fig. 3 — Schema dell'autotrasformatore di cui viene esposto il calcolo nel testo. La potenza dissipabile in uscita ammonta a 500 voltampère, ossia 125 per 4.

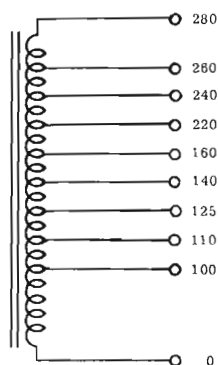



Fig. 4 — Schema dell'autotrasformatore oggetto del secondo esempio. Come si nota sono possibili tutte le tensioni di entrata comprese tra 100 e 280 volt. La massima potenza effettiva dissipabile in uscita ammonta a 500 VA.

ESEMPI di COSTRUZIONE

Anche nel calcolo di un autotrasformatore, come in quello di un trasformatore di alimentazione, in fase di progetto è necessario stabilire i seguenti elementi: 1) La potenza in gioco. 2) La sezione del nucleo. 3) La sezione del filo di rame. 4) Il fattore spire per volt. 5) Le dimensioni dei lamierini.

Come si è detto, nell'autotrasformatore non è più la potenza primaria o quella secondaria che determina le dimensioni del nucleo, bensì la potenza di trasformazione. Per meglio chiarire l'intero procedimento di calcolo, ricorriamo a qualche esempio.

1° esempio

Supponiamo di dover calcolare un autotrasformatore semplice, tale cioè da consentire, con una data tensione primaria, una data tensione secondaria con una definita intensità di corrente. Supponiamo inoltre, che la tensione e la corrente necessarie nel circuito di carico siano rispettivamente di 125 volt, e di 4 ampère, e che la tensione di rete disponibile (tensione primaria da trasformare) ammonti a 220 volt.

Il caso è illustrato nella **figura 3**, dove si nota che:

$V_p = 220$ volt $\quad V_s = 125$ volt $\quad I_s = 4$ ampère

Specifichiamo che, in questo esempio, si tratta di realizzare un trasformatore che possa funzionare esclusivamente come riduttore di tensione, in quanto la tensione di uscita è minore di quella di entrata.

Determinazione della potenza di trasformazione: la potenza totale di uscita P_u è data — come ben sappiamo — dal prodotto tra la tensione e la corrente secondarie: nel nostro caso essa equivale a $125 \times 4 = 500$ voltampère.

Se si trattasse di un trasformatore dovremmo ricavare da questo valore la potenza primaria, e da questa la sezione del nucleo. Viceversa, trattandosi di un autotrasformatore, dobbiamo determinare il valore della potenza trasformata, la quale è data da:

$$P_t = P_u \left(1 - \frac{V_s}{V_p}\right) = 500 \left(1 - \frac{125}{220}\right) = 500\,(1 - 0{,}57)$$

da cui:

$P_t = 500 \times 0{,}43 = 215$ VA.

Come si nota, la potenza di trasformazione è — in questo caso — inferiore alla metà della potenza totale. Da ciò appare subito evidente che le dimensioni dell'autotrasformatore saranno alquanto inferiori a quelle di un trasformatore che consenta le medesime prestazioni.

Determinazione della sezione del nucleo: nella lezione 38ª abbiamo appreso la formula che consente il calcolo esatto della sezione netta del nucleo di un trasformatore. Tale formula è altrettanto valida per gli autotrasformatori: tuttavia, volendo evitare il calcolo — peraltro assai semplice — possiamo servirci dell'abaco riportato a pagina 307.

Riferendoci dunque alla potenza trasformata di 215 voltampère, troviamo che per tale potenza la sezione netta del nucleo deve ammontare a 22 cm². La sezione lorda corrispondente sarà pertanto di 24,5 cm² con lamierini da 0,35, oppure 25,5 cm² con lamierini da 0,5 mm di spessore.

L'autotrasformatore non è un dispositivo particolarmente delicato, ed il suo funzionamento non implica particolari esigenze: è quindi senz'altro consigliabile l'uso di lamierini da 0,5 mm.

Determinazione della sezione del conduttore: ovviamente, anche nel calcolo di un autotrasformatore, la sezione del filo da usare dipende dall'intensità della corrente che scorre nell'avvolgimento. Essendo nota la corrente secondaria di 4 ampère (poichè tale è il valore che desideriamo ottenere), non resta che calcolare la corrente che circola effettivamente attraverso il circuito primario, o meglio attraverso la parte di avvolgimento che fa parte del circuito secondario.

Dalla nota relazione che dà la corrente dividendo la potenza per la tensione, possiamo ricavare il valore che desideriamo conoscere e regolarci in conformità. Abbiamo visto, all'inizio di questo esempio di calcolo, che la potenza massima in gioco ammonta a 500 voltampère (pari a 4×125). Di conseguenza, la corrente primaria corrispondente a tale valore sarà pari al rapporto tra la potenza massima e la tensione primaria, ossia a $500 : 220 = 2{,}27$ ampère.

Occorre però ricordare che, con una corrente del circuito di uscita pari a 4 ampère, in opposizione di fase rispetto alla corrente del circuito di entrata, nel tratto di avvolgimento comune ai due circuiti scorre in realtà una corrente effettiva pari alla differenza tra la maggiore e la minore. La corrente primaria nel tratto comune sarà dunque pari a:

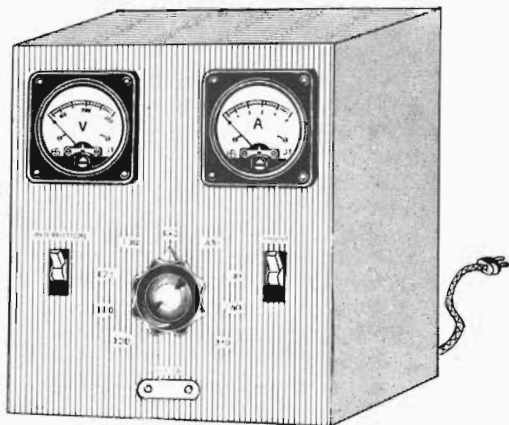



Fig. 5 — Aspetto dell'autotrasformatore da laboratorio descritto nel testo. I due strumenti consentono il controllo della tensione e della corrente di uscita. L'interruttore di sinistra serve per inserire o escludere la tensione di rete (accensione), mentre quello di destra porta la portata originale dell'amperometro di 0,5 mA a fondo scala, al valore di 5 ampère mediante il collegamento di un « shunt ». L'uscita può essere prelevata dall'apposito attacco presente al centro in basso, e variata mediante il commutatore centrale. L'entrata è invece applicata sul pannello posteriore, mediante boccole collegate alle varie prese.

$$I_p = 4 - 2{,}27 = 1{,}73 \text{ ampère.}$$

A questo punto, noti i valori di corrente in gioco nei due tratti dell'intero avvolgimento, abbiano tutti gli elementi necessari per stabilire la sezione del conduttore. Se si considera una portata di 2,5 ampère per mm², come è d'uso comune negli autotrasformatori, onde consentire un uso prolungato senza introdurre coefficienti eccessivi di perdita per effetti termici, si ha che il diametro del conduttore è dato da:

$$\varnothing = 0{,}7\sqrt{\text{corrente}}$$

La corrente primaria ammonta a 2,27 ampère, di conseguenza la sezione del conduttore relativo sarà pari a:

$$\varnothing = 0{,}7\sqrt{2{,}27} = 0{,}7 \times 1{,}5 \text{ (circa)}$$

da cui: $\varnothing = 1{,}05$ (che può essere arrotondato ad 1 mm).

Nel tratto di avvolgimento comune ai due circuiti, tratto che costituisce l'intero secondario, scorre — come sappiamo — una corrente di 1,73 ampère. Il conduttore necessario per tale corrente, applicando la medesima formula, ha un diametro di 0,93 mm (che può essere arrotondato a 0,95). Tali valori possono anche essere ricavati, con buona approssimazione, dalla apposita tabella riportata a pagina 309.

Determinazione del numero delle spire: come abbiamo visto a suo tempo per i trasformatori, anche in questo caso il numero delle spire è di importanza fondamentale agli effetti della densità di flusso che la corrente circolante crea internamente al nucleo, specie per il fatto che, mentre un numero di spire eccessivo diminuisce il rendimento, un numero insufficiente porta il nucleo stesso al punto di saturazione, con le note conseguenze. Considereremo anche in questo caso — trattandosi sempre di lamierino in ferro al silicio, — una densità di 10.000 linee per cm² (ossia 10.000 gauss). Con tale presupposto, vale anche per gli autotrasformatori la formula secondo la quale il numero delle spire per volt è dato dal rapporto tra il numero fisso 45 e la sezione netta (che — nel nostro esempio — ammonta a 22 cm²). Il fattore spire/volt sarà dunque pari a:

$$45 : 22 = 2 \text{ (circa).}$$

Per l'avvolgimento primario, ossia per l'intero avvolgimento, sottoposto alla tensione di 220 volt, necessiteranno dunque $220 \times 2 = 440$ spire.

Parte di questo avvolgimento — tuttavia — costituisce il secondario, e precisamente per un numero di spire pari a $125 \times 2 = 250$ spire.

Dal momento che la parte in comune è quella percorsa da una corrente di minore intensità, in fase di realizzazione avvolgeremo un totale di 250 spire con filo del diametro di 0,95 mm, alle quali faranno seguito $440 - 250 = 190$ spire, avvolte invece con un filo da 1 mm

Dimensioni dei lamierini: a questo punto non ci resta che valutare approssimativamente l'ingombro della sezione dell'avvolgimento, onde stabilire le caratteristiche esatte dei lamierini da utilizzare. Dalla tabella 54 (pagina 309), apprendiamo che col filo smaltato da 0,95 mm possiamo avvolgere 86 spire per ogni cm² di sezione, mentre con filo da 1 mm le spire per cm² ammontano a 72. Di conseguenza, l'ingombro delle due sezioni dell'avvolgimento sarà pari a:

$$250 : 86 = 2{,}9 \text{ cm}^2 \text{ circa}$$

$$190 : 72 = 2{,}6 \text{ cm}^2 \text{ circa}$$

per un totale approssimativo di 5,5 cm². Questo numero — come sappiamo — esprime l'ingombro netto del solo rame costituente l'avvolgimento; ad esso andrà aggiunto l'ingombro determinato dagli strati di carta interposti, dalla presa praticata al termine del secondario, dallo spessore della carcassa sulla quale viene avvolto il conduttore, nonchè da quello del materiale col quale l'avvolgimento finito verrà ricoperto esternamente. Tutto ciò comporta un aumento approssimativo del 60% dell'ingombro netto, che pertanto diventa:

$$5{,}5 \text{ cm}^2 + 3{,}3 \text{ (pari al 60\% circa)} = 8{,}8 \text{ cm}^2.$$

Tale dovrà essere l'area della finestra del lamierino necessario per la realizzazione. Non rimane pertanto che scegliere un lamierino che consenta di ottenere una superficie pressochè quadrata di 25,5 cm² (lorda), con una finestra di circa 8,8 cm².

II° esempio

Supponiamo ora di dover progettare un altro tipo di autotrasformatore, più complesso: ad esempio un tipo da laboratorio, che consenta cioè di disporre di varie tensioni di uscita, e — oppure — di applicare varie tensioni di entrata. La potenza che suggeriamo per tale

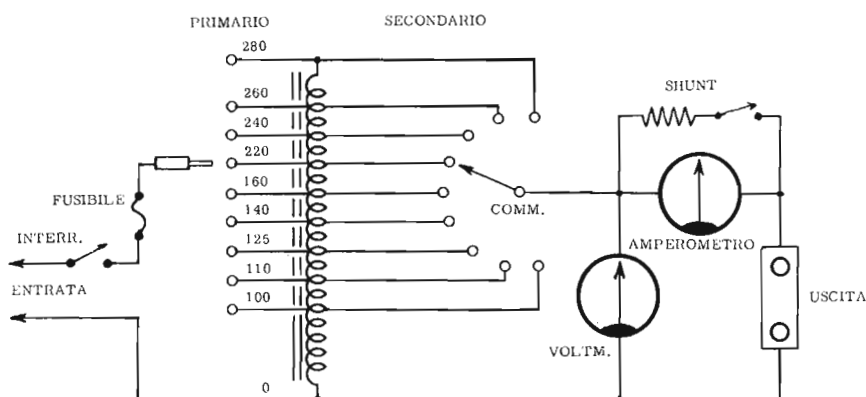



Fig. 6 — Circuito elettrico completo dell'autotrasformatore illustrato in figura 5. Il fusibile in serie al circuito primario serve come protezione dell'intero apparecchio. È conveniente installarlo in una scatola di ferro, ad evitare la presenza di flussi dispersi che potrebbero influenzare le apparecchiature alimentate.

autotrasformatore è di 500 voltampère (sufficiente per alimentare diverse apparecchiature contemporaneamente), e le tensioni di funzionamento, sia primarie che secondarie, potranno essere le seguenti: 100, 110, 125, 140, 160, 220, 240, 260 e 280 volt.

La **figura 4** illustra la rappresentazione schematica di questo autotrasformatore, il quale — volendolo — potrà per praticità di impiego essere montato in una scatola munita di una manopola, di strumenti, e di prese d'entrata, e d'uscita, come illustrato in **figura 5**. La manopola potrà azionare un commutatore opportunamente dimensionato, tale cioè che i suoi contatti possano consentire il passaggio della massima corrente erogabile senza scaldarsi e senza apportare perdite per resistenza di contatto. Per il collegamento alla tensione di rete disponibile si potrà adottare un cordone con spina da un lato e banana su di un condutore dall'altro, mentre gli attacchi d'uscita potranno essere collegati uno all'inizio dell'avvolgimento, ed uno al contatto rotante del commutatore (vedi **figura 6**). In tal modo la tensione d'uscita potrà essere variata mediante la sola rotazione della manopola isolata, senza costringere l'operatore a spostare banane o contatti mobili. La figura 6 integra le due figure precedenti, in quanto illustra il circuito completo di un autotrasformatore di tale tipo, munito anche di voltmetro e di amperometro (entrambi a ferro mobile), per il controllo costante della tensione e della corrente d'uscita.

Supponiamo — come è logico — che questo dispositivo debba poter funzionare sia come elevatore di tensione che come riduttore, fornendo in uscita una tensione minima di 100 volt con 5 ampère, ed una tensione massima di 270 volt con 1,78 ampère circa, con tutti i valori intermedi.

Entrambi i prodotti tra la tensione e la corrente (nei due casi estremi) ammontano a 500. Di conseguenza, anche le correnti relative alle varie tensioni intermedie avranno una intensità inversamente proporzionale alla tensione stessa. La potenza massima d'uscita ammonta quindi a 500 voltampère in ogni caso.

Ripetiamo per questo secondo esempio l'intera procedura di calcolo. Ciò è opportuno in quanto sussistono notevoli differenze nei confronti dell'esempio precedente.

Determinazione della potenza di trasformazione: Come si è detto, questo dispositivo deve poter funzionare sia come elevatore che come riduttore. Applicando le due formule per il calcolo della potenza di trasformazione nei due casi estremi, abbiamo (arrotondando i decimali):

1) Funzionamento come elevatore.

$$P_t = 500\left(1 - \frac{100}{280}\right) = 500\,(1 - 0{,}35)$$

$$= 500 \times 0{,}65 = 325 \text{ voltampère}$$

2) Funzionamento come riduttore.

$$P_t = 500\left(1 - \frac{100}{280}\right) = 325 \text{ voltampère}$$

Come si nota, in entrambi i casi estremi, quelli cioè in cui si ha la minima tensione di entrata con la massima tensione di uscita, oppure la massima tensione di entrata e la minima di uscita, la potenza di trasformazione (che costituisce la base per il dimensionamento del trasformatore) è sempre inferiore alla potenza effettiva di uscita che ammonta a 500 voltampère.

Se — con un po' di pazienza — applicassimo le formule per tutte le combinazioni possibili tra tensione di entrata e tensione di uscita, noteremmo che la potenza di trasformazione non è costante. Ad esempio, se entra una tensione di 160 volt, e si preleva in uscita la medesima tensione, è evidente che l'autotrasformatore non compie alcun lavoro, e viene perciò a trovarsi semplicemente in parallelo alla linea. In tali condizioni — infatti — la potenza trasformata è data da:

$$P_t = 500\left(1 - \frac{160}{160}\right) = 500\,(1 - 1) = 500 \times 0 = 0 \text{ voltampère}$$

Questo è il caso limite relativo al valore minimo di P_t. Per contro, se proviamo a calcolare P_t per 140 volt in entrata e 220 in uscita abbiamo:

$$P_t = 500\left(1 - \frac{140}{220}\right) = 500\,(1 - 0{,}635) \text{ (circa),}$$

da cui: $P_t = 500 \times 0{,}365 = 182{,}5$ voltampère

In ogni caso, per qualunque combinazione, troveremo un valore di P_t inferiore a quello relativo ai due casi estremi precedentemente considerati. Tuttavia, dal momento che può accadere di usare l'autotrasformatore in

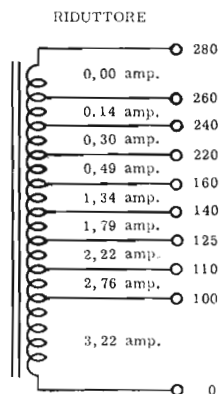



Fig. 7-A — Le intensità massime della corrente che scorre nei vari settori dell'avvolgimento, allorchè l'autotrasformatore funziona come riduttore, iniziano da 3,22 ampère tra 0 e 100 volt, dopo di che diminuiscono progressivamente. Nel settore compreso tra 260 e 280 volt la corrente è teoricamente zero, in quanto non è riportata la corrente a vuoto I_o.

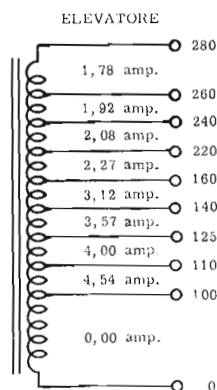



Fig. 7-B — Si noti che, allorchè l'autotrasformatore funziona come elevatore, le correnti in gioco sono di maggiore intensità. Anche in questo caso, nel tratto compreso tra 0 e 100 volt, non è riportata la corrente a vuoto I_o.

tali condizioni, dobbiamo calcolare la sezione del nucleo in rapporto ad esse. Così facendo, nel caso che la potenza di trasformazione ammonti a 325 voltampère, il dispositivo risulterà opportunamente dimensionato, e, nei casi in cui verrà richiesta una potenza inferiore, le maggiori dimensioni del nucleo non saranno di alcun disturbo.

Determinazione della sezione del nucleo: dal solito abaco, riportato a pagina 307, apprendiamo che, per una potenza di 325 voltampère, la sezione netta del nucleo ammonta a 27 cm², e che, con lamierini da 0,5 mm di spessore, la sezione lorda corrispondente è di 31,5 cm².

Determinazione della sezione del conduttore: la sezione del conduttore è — come ormai sappiamo — in relazione alla corrente che lo percorre. Possiamo subito renderci conto dei valori massimi e minimi della corrente, riferiti ai casi estremi, e precisamente avremo:

1) per 100 volt entrata e 280 volt uscita (elevatore):

$I_{s\,max} = 500:280 = 1{,}78$ ampère.

2) per 280 volt entrata e 100 volt uscita (riduttore):

$I_{s\,max} = 500:100 = 5{,}00$ ampère.

Osservando la **figura 7 A** e **B**, notiamo i valori delle varie correnti che possono percorrere, nei casi estremi, i tratti dell'intero avvolgimento, a seconda che l'autotrasformatore funzioni come riduttore (collegando in entrata 280 volt e prelevando in uscita le varie tensioni disponibili a pieno carico di 500 watt), oppure come elevatore (collegando in entrata 100 volt e prelevando in uscita le varie tensioni disponibili, sempre a pieno carico).

Come riduttore, l'entrata è costantemente applicata tra l'inizio e la presa a 280 volt. La corrente primaria minima è pari a 500:280=1,78 ampère. Se in tali condizioni preleviamo in uscita 100 volt con 5 ampère, scorrerà una corrente di 1,78 ampère tra la presa a 280 volt e la presa a 100 volt, mentre tra questa e l'inizio dell'avvolgimento si avrà una corrente pari a 5 — 1,78 ampère, ossia di 3,22 ampère. Se invece preleviamo una tensione di uscita di 110 volt, con una corrente di 500:110= 4,54 ampère, avremo sempre una corrente primaria di 1,78 ampère, che — in tal caso scorrerà tra la presa a 280 volt e la presa a 110 volt, mentre nel tratto compreso tra 0 e 110 volt avremo una corrente pari a 4,54 — 1,78=2,76 ampère. Risalendo in tal modo fino ad un'uscita di 140 volt, notiamo che la corrente primaria di 1,78 ampère scorrerà tra la presa a 280 volt e la presa a 140 volt, mentre tra l'inizio e la presa a 140 avremo una corrente di 500:140=3,57, e quindi 3,57 — 1,78=1,79 ampère. Aumentando ulteriormente la tensione di uscita, e tenendo costante la tensione di entrata a 280 volt, troveremmo che i settori dell'avvolgimento compresi tra la presa a 140 volt e quella a 280 volt sono percorsi da correnti secondarie inferiori a 1,78 ampère. Ciò nonostante, il conduttore usato non potrà essere più sottile in quanto, in tal caso, quando è richiesto il passaggio di una corrente di 1,78 ampère si avrebbe una dissipazione termica dovuta alla sezione insufficiente del conduttore.

Considerando invece il funzionamento come elevatore, figura 7 B, notiamo che, mantenendo una tensione di entrata costante di 100 volt tra l'inizio dell'avvolgimento e la presa relativa, e prelevando in uscita tutte le tensioni disponibili con le relative correnti a pieno carico, i vari settori dell'avvolgimento sono percorsi dalle correnti nel modo che ora vedremo.

Con una corrente primaria di 500:100=5 ampère, tra l'inizio e la presa a 100 volt la corrente effettiva (teorica) è pari a 0 ampère. Prelevando invece una tensione di 110 volt, abbiamo una corrente secondaria di 500:110=4,54 ampère: tuttavia, nel tratto di avvolgimento comune al primario a 110 volt, la corrente di 5 ampère scorre con polarità opposta, per cui si ha una corrente residua di 5 — 4,54=0,46 ampère. Di conseguenza, la corrente di 4,54 ampère dovrà scorrere soltanto nel tratto compreso tra le prese a 100 e 110 volt.

Aumentando progressivamente la tensione di uscita, abbiamo una corrente di 4,00 ampère tra 110 e 125 volt: 3,57 ampère tra 125 e 140: 3,12 ampère tra 140 e 160: 2,27 ampère tra 160 e 220: 2,08 ampère tra 220 e 240: 1,92 ampère tra 240 e 260, ed infine 1,78 ampère tra 260 e 280 volt.

Le correnti circolanti nei vari settori in questo secondo caso sono evidentemente maggiori che non nel primo: ed appunto questi sono i valori da prendere in considerazione per consentire il funzionamento sia come elevatore che come riduttore. In tal caso, usando l'autotrasformatore come elevatore di tensione, esso risulterà opportunamente dimensionato, e l'eccesso nella sezione del conduttore — se impiegato come riduttore — non arrecherà certo alcun inconveniente.

Naturalmente, i valori di corrente così calcolati po-

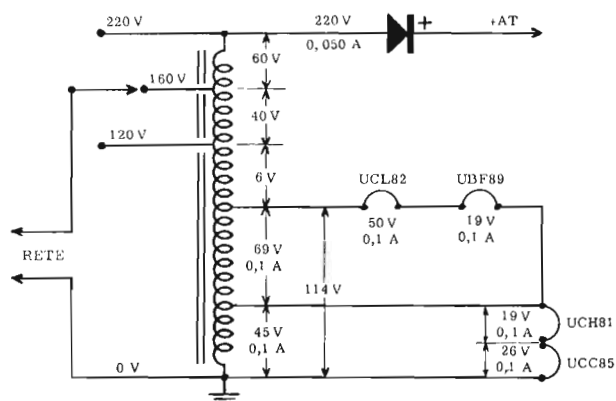



Fig. 8 — Schema elettrico dell'autotrasformatore del terzo esempio. Come si nota, la presa a 220 volt fornisce l'alta tensione per l'alimentazione anodica, mentre i due settori a bassa tensione alimentano i filamenti delle valvole, come segue: da 0 a 45 volt, 26+19 volt con 100 milliampère; da 45 a 114 volt, 19+50 volt con 100 mA. Dalla presa a 114 volt in su l'avvolgimento ha le sole prese relative al primario, mentre in corrispondenza della presa a 220 volt si ha, oltre alla presa del primario, la presa per l'alta tensione da rettificare mediante il raddrizzatore.

tranno essere arrotondati opportunamente, per la scelta del conduttore: per maggior precisione, specifichiamo che il tratto compreso tra 0 e 100 volt (che può essere percorso da una corrente massima di 3,22 ampère) potrà essere da 1,4 mm di diametro (vedi tabella 54 a pagina 309): il tratto compreso tra 100 e 110 volt verrà avvolto con filo da 1,5 mm. Indi si proseguirà con filo da 1,4 mm fino a 125 volt, da 1,35 mm fino a 140, da 1,30 mm fino a 160, da 1,2 mm fino a 220, da 1 mm fino a 240, da 0,95 mm fino a 260, ed infine da 0,90 mm fino a 280 volt.

Si noti che il tratto compreso tra 0 e 100 volt non viene in nessun caso percorso da una corrente maggiore di 3,22 ampère, per cui può essere avvolto con filo più sottile che non il tratto immediatamente successivo. In seguito, il diametro del conduttore tende comunque a diminuire progressivamente.

Determinazione del numero delle spire: abbiamo già appreso ed applicato in varie occasioni il sistema di calcolo del fattore spire per volt. Nel nostro caso, disponendo di una sezione netta di 27 cm², il fattore spire per volt sarà dato da 45 : 27 = 1,66. Di conseguenza, in fase di realizzazione, l'avvolgimento verrà effettuato come segue:

da 0 a 100 volt . . 1,66 × 100 = 166 spire - filo da 1,4 mm;
da 100 a 110 volt . . 1,66 × 10 = 16 spire - filo da 1,5 mm;
da 110 a 125 volt . . 1,66 × 15 = 25 spire - filo da 1,4 mm;
da 125 a 140 volt . . 1,66 × 15 = 25 spire - filo da 1,35 mm;
da 140 a 160 volt . . 1,66 × 20 = 33 spire - filo da 1,30 mm;
da 160 a 220 volt . . 1,66 × 60 = 99 spire - filo da 1,20 mm;
da 220 a 240 volt . . 1,66 × 20 = 33 spire - filo da 1,00 mm;
da 240 a 260 volt . . 1,66 × 20 = 33 spire - filo da 0,95 mm;
da 260 a 280 volt . . 1,66 × 20 = 33 spire - filo da 0,90 mm.

Dimensioni dei lamierini: siamo così giunti alla fase finale del calcolo. Noti i numeri delle spire delle varie sezioni dell'avvolgimento, non resta che determinare l'ingombro netto del rame dividendo il numero totale delle spire avvolte con ogni tipo di conduttore per la densità di spire per cm² corrispondene, e sommare i vari ingombri così ottenuti. L'ingombro totale verrà poi moltiplicato per 1,7 (dato l'elevato numero di prese intermedie), il che consente di valutare l'ingombro totale lordo dell'intero avvolgimento. Ciò consentirà di stabilire l'area della finestra del lamierino.

III° esempio

Vediamo ora come è possibile calcolare un autotrasformatore del tipo illustrato in **figura 8**, adatto per l'alimentazione di un apparecchio radio di piccola potenza. Come si nota, occorre un'alta tensione di 220 volt con 50 mA, e due tensioni di accensione, pari rispettivamente a 69 ed a 45 volt, entrambe con una corrente di 0,1 ampère.

L'autotrasformatore funziona soltanto come elevatore nei confronti dell'uscita a 220 volt (sia pure con rapporto 1 : 1 se l'entrata è anch'essa di 220 volt), mentre funziona soltanto come riduttore nei confronti delle tensioni di accensione.

Le potenze dissipate nel circuito secondario ammontano ad un totale di 22, 4 VA, valore che può essere arrotondato a 25 VA. Tuttavia, applicando le formule note, apprendiamo che la massima potenza di trasformazione ammonta a circa 12 VA. Ad essa corrisponde una sezione lorda di cm² 5,8 con lamierini da 0,35 mm, ed un fattore spire per volt pari a 45 : 5,2 = 8,7 (circa).

Tenendo conto della sottrazione delle intensità di corrente nei vari settori dell'avvolgimento, avremo, a partire dall'inizio (0), i seguenti dati:

Da 0 a 45 volt, spire 8,7 × 45 = 392: in questa parte dell'avvolgimento scorre una corrente secondaria di 150 mA, dalla quale va però sottratta la corrente primaria minima di 100 mA. Il conduttore sarà dunque adatto ad una corrente di 50 mA, ed avrà un diametro di 0,15 mm.

Da 45 a 114 volt, spire 8,7 × 69 = 600: in questa parte la corrente totale è identica a quella della sezione precedente, ed il conduttore sarà il medesimo.

Da 114 a 120 volt, spire 8,7 × 6 = 52. Quì la corrente di accensione non è più presente, bensì esiste soltanto la corrente anodica di 50 mA, e la corrente primaria opposta, il cui valore minimo è di 100 mA. Per la differenza di 50 mA useremo ancora un conduttore da 0,15 mm. Col medesimo conduttore si potrà continuare l'avvolgimento fino alla presa per 160 volt, avvolgendo ancora 8,7 × 40 = 348 spire, dopo di che si avvolgeranno le restanti 8,7 × 60 = 522 spire, fino alla presa a 220 volt.

In quest'ultima sezione il conduttore porta una corrente massima di circa 50 mA, per cui potrà avere ancora il diametro di 0,15 mm.

DOMANDE sulle LEZIONI 58ª e 59ª

N. 1 —

Quale è la caratteristica che distingue i trasformatori di Bassa Frequenza dai comuni trasformatori di alimentazione precedentemente considerati?

N. 2 —

Per quale motivo — in linea di massima — all'accoppiamento a trasformatore tra gli stadi di un amplificatore viene normalmente preferito l'accoppiamento RC, nonostante la prerogativa del trasformatore di consentire un elevamento della tensione?

N. 3 —

In quale modo è possibile collegare la bobina mobile di un altoparlante, caratterizzata da un basso valore di impedenza, al circuito di uscita di una valvola finale?

N. 4 —

Quale è la funzione più importante del trasformatore di uscita, oltre a quella di adattare l'impedenza?

N. 5 —

È possibile, mediante un trasformatore d'uscita, collegarsi a vari valori di impedenza di carico?

N. 6 —

Oltre all'azione di accoppiamento del segnale, quale è il compito del trasformatore intervalvolare collegato tra uno stadio pilota ed uno stadio finale in controfase?

N. 7 —

Quale rapporto intercorre tra l'impedenza reale del primario di un trasformatore di uscita, e l'impedenza riflessa?

N. 8 —

Quale relazione intercorre tra l'impedenza riflessa e l'impedenza di carico, a seconda che il trasformatore sia in salita o in discesa?

N. 9 —

Quale è la differenza principale tra un trasformatore ed un autotrasformatore?

N. 10 —

Per quale motivo l'autotrasformatore è caratterizzato da un funzionamento più economico che non il trasformatore?

N. 11 —

Se un autotrasformatore viene collegato alla rete, senza che alcun carico venga applicato tra le prese secondarie, si ha un consumo di corrente corrispondente alla potenza per la quale esso è stato costruito?

N. 12 —

Considerando le correnti relative alle varie sezioni dell'avvolgimento allorchè esso funziona a pieno carico, si può dire che il loro valore è costante, sia nel funzionamento come riduttore che come elevatore di tensione?

N. 13 —

A quanto ammonta l'intensità di corrente che, in un'autotrasformatore circola nella parte di avvolgimento comune ai due circuiti primario e secondario?

N. 14 —

La potenza in gioco in un autotrasformatore, è quella effettivamente dissipata nel circuito secondario?

RISPOSTE alle DOMANDE di Pag. 449

N. 1 — Un circuito di accoppiamento.

N. 2 — In un condensatore, che preleva il segnale tra la placca e la resistenza di carico dello stadio precedente, e lo trasferisce sulla griglia di quello successivo.

N. 3 — Nel rapporto tra il segnale di uscita e quello di entrata, considerato nei confronti dell'intera gamma di frequenze su cui l'apparecchio deve poter funzionare.

N. 4 — Le capacità interelettrodiche delle valvole, le capacità parassite dei componenti e dei collegamenti relativi verso massa, nonchè — a volte — la reattanza di alcuni componenti.

N. 5 — L'elevata reattanza offerta dai condensatori di accoppiamento.

N. 6 — La resistenza di carico deve essere di valore notevolmente più elevato della resistenza dinamica di placca della valvola.

N. 7 — Uno stadio ad accoppiamento LC è simile ad uno ad accoppiamento RC. La differenza consiste nel fatto che, al posto della resistenza di carico anodico, si trova una impedenza. Questa offre alla componente continua una resistenza di valore ridotto, per cui la tensione effettiva di placca è maggiore che non in uno stadio di tipo RC.

N. 8 — Un amplificatore i cui stadi sono accoppiati attraverso circuiti RC ha un responso maggiormente lineare.

N. 9 — L'assenza di condensatori o di trasformatori di accoppiamento. La placca di uno stadio è in contatto con la griglia di quello successivo.

N. 10 — Perchè la mancanza di condensatori e di induttanze nel circuito di accoppiamento evita la variazione di amplificazione col variare della frequenza, in quanto non esistono reattanze.

N. 11 — Perchè in tal modo, allorchè si manifesta una certa corrente di griglia, non si sviluppa una tensione di polarizzazione eccessiva a causa della caduta di tensione nel medesimo circuito di griglia.

N. 12 — Quelli che costituiscono il circuito di accoppiamento. Il loro valore è infatti elevato per le frequenze basse, ed è invece tanto minore quanto maggiore è la frequenza di funzionamento.

N. 13 — Il tempo impiegato da un elettrone per trasferirsi da un elettrodo ad un altro internamente ad una valvola.

N. 14 — Riducendo lo spazio presente tra gli elettrodi.

N. 15 — Sommando i guadagni in dB dei singoli stadi.

N. 16 — Quattro: di ampiezza, di frequenza, di fase e distorsione armonica.

N. 17 — Perchè in un apparecchio elettronico esistono sempre tensioni che possono essere o positive o negative verso massa, e, a causa della necessaria presenza di un punto di massa comune all'apparecchio sotto prova ed al voltmetro, non è possibile invertire i puntali come accade con un « tester ».

N. 18 — Agendo sul controllo denominato « bilanciamento in corrente alternata ».

Abbiamo esaminato nelle lezioni 52ª e 55ª l'argomento della valvola come amplificatrice ed i vari circuiti relativi; abbiamo visto come è possibile studiarne le caratteristiche riferite alle varie resistenze di carico, alle varie tensioni di polarizzazione, ecc.

Sebbene i dati enunciati siano sufficienti per progettare uno o più stadi di amplificazione, e per calcolare i valori delle resistenze necessarie per polarizzare gli elettrodi, riteniamo di grande utilità pubblicare la tabella 67, redatta a cura della RCA, mediante la quale è possibile stabilire con estrema semplicità i valori tipici da assegnare ai componenti di uno stadio RC, che intervengono nel funzionamento di una valvola onde sfruttarne al massimo le possibilità, e ricavarne quindi le migliori prestazioni soprattutto dal punto di vista della gamma di frequenze uniformemente amplificata.

Questa tabella — riferita ai soli triodi — verrà integrata da un'altra, nella lezione 63ª, riferita ai pentodi.

GLI STADI « R-C »

Le valvole amplificatrici di tensione con accoppiamento a resistenza e capacità, già sappiamo, funzionano con componenti e circuiti relativamente semplici, e consentono un'amplificazione particolarmente uniforme in una gamma di frequenze sufficientemente ampia.

Vengono forniti i dati relativi a numerosi tipi di valvole, tra cui triodi ad alto e basso coefficiente di amplificazione (μ), doppi triodi, ecc. Riportiamo inoltre un indice che consente di individuare rapidamente il gruppo nel quale figura la valvola di cui si desidera conoscere i valori di funzionamento.

SIMBOLI USATI

Nella tabella dei valori tipici sono stati adottati dei simboli già noti al lettore, e che qui riportiamo unicamente per maggiore comodità.

C = Capacità di accoppiamento, in μF.

C_k = Capacità catodica (in parallelo ad R_k), in μF.

E_{bb} = Tensione anodica di alimentazione, da non confondere con la tensione presente direttamente sulla placca. Questa è data da E_{bb} meno la caduta di tensione che si manifetsa ai capi di R_p e di R_k. È espressa in volt.

R_k = Resistenza di polarizzazione di catodo, in ohm.

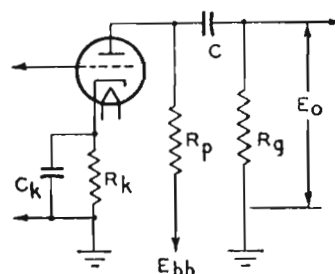
R_g = Resistenza di griglia (di fuga), in Mohm.

R_p = Resistenza di placca, in Mohm.

VG = Guadagno di tensione con uscita di 5 volt eff. a meno che non sia diversamente specificato.

E_o = Tensione di picco di uscita in volt. Detta tensione si manifesta ai capi di R_g dello stadio successivo in corrispondenza di qualsiasi frequenza compresa nel tratto lineare della curva di responso. Ciò è subordinato alle condizioni che sussistono allorchè l'ampiezza del segnale è tale da variare la tensione di griglia dello stadio RC fino al punto in cui la griglia stessa inizia ad assorbire corrente.

N.B. Per tensioni di alimentazione anodica che differiscono del 50 per cento da quelle considerate nelle tabelle, i valori delle resistenze e delle capacità, nonchè quelli del guadagno di tensione, sono approssimativamente esatti. Tuttavia, il valore della tensione di uscita, corrispondente ad uno qualsiasi di tali differenti valori, equivale alla tensione di uscita elencata, moltiplicata per il rapporto tra la tensione anodica differente e quella corrispondente al medesimo valore elencato.

TABELLA 67 — VALORI TIPICI per STADI di AMPLIFICAZIONE del tipo RC

Schema di stadio amplificatore a resistenza-capacità cui si riferiscono i simboli ed i valori della tabella.

INDICE

Tipo di valvola	Gruppo						
		6AQ6	A	6J5	C	12AU7A	B
		6AT6	A	6SL7	A	12AV6	D
		6AV6	D	6SN7	C	12AX7	D
3AV6	A	6BK7B	G	6Y8	A	12SL7	A
ABQ7Q	G	6BQ7A	G	6T8A	A	12SN7	C
4BZ7	G	6BZ7	G	7AU7	B	19T8	A
5BK7A	G	6C4	B	8CG7	C	5879(T)	E
5BQ7A	G	6CG7	C	12AT6	A	7025	D
5T8	A	6CN7	A	12AT7	F	7199(T)	H
6AB4	F	6EU7	D				

CONSIDERAZIONI GENERALI sul CIRCUITO

Nella breve dissertazione che segue, f_2 rappresenta il valore di frequenza in corrispondenza del quale il responso alle frequenze elevate inizia a diminuire. Per contro, f_1 è il valore in corrispondenza del quale il responso alle frequenze minori comincia a scendere al di sotto del valore soddisfacente.

I valori elencati, sia delle resistenze che delle capacità, possono variare del 10% senza che ciò alteri in modo apprezzabile le corrispondenti caratteristiche di funzionamento.

R_p, R_g ed R_k possono normalmente avere una dissipazione di 0,5 watt. La tensione di lavoro dei condensatori di accoppiamento e di filtro deve essere superiore o almeno pari alla tensione di alimentazione E_{bb}. La capacità C_k può invece avere una tensione di lavoro ridotta, dell'ordine cioè da 10 a 25 volt.

La tensione di picco del segnale di ingresso equivale alla tensione di picco del segnale di uscita, divisa per il guadagno di tensione.

AMPLIFICATORE a TRIODO

Le capacità C e C_k sono state scelte in modo da consentire una tensione di uscita pari a 0,8 E_o con un valore di f_1 pari a 100 Hz. Per qualsiasi altro valore di f_1 moltiplicare C e C_k per il rapporto $100 : f_1$.

Per ciò che riguarda la capacità C_k, i valori elencati nella tabella sono riferiti al sistema di accensione del filamento con corrente continua. Se si usa invece corrente alternata, a seconda delle caratteristiche intrinseche dei circuiti associati, del guadagno e del valore di f_1, può essere opportuno aumentarne il valore allo scopo di diminuire il rumore di fondo introdotto dall'alternata stessa.

La tensione di uscita riferita ad f_1, di un numero « n » di stadi eguali tra loro è data da:

$$\text{volt uscita} = (0{,}8)^n \times E_o$$

nella quale E_o rappresenta la tensione di picco di uscita dello stadio finale.

Per un amplificatore di tipo convenzionale, il valore di f_2 è notevolmente superiore al limite massimo delle frequenze acustiche, per qualsiasi valore di R_p.

Per le valvole multiple (triodi-pentodi) cercare il tipo di valvola seguito dalla lettera T per la sezione triodo.

Ebb	Rp	Rg	Rg2	Rk	Cg2	Ck	C	Eo	V.G.
90	0.1	0.1	–	4200	–	2.5	0.025	5.4	22●-
		0.22	–	4600	–	2.2	0.014	7.5	27●-
		0.47	–	4800	–	2.0	0.0065	9.1	30●-
	0.22	0.22	–	7000	–	1.5	0.013	7.3	30●-
		0.47	–	7800	–	1.3	0.007	10	34■
		1.0	–	8100	–	1.1	0.0035	12	37★
	0.47	0.47	–	12000	–	0.83	0.006	10	36■
		1.0	–	14000	–	0.7	0.0035	14	39★
		2.2	–	15000	–	0.6	0.002	16	41★
180	0.1	0.1	–	1900	–	3.6	0.027	19	30★
		0.22	–	2200	–	3.1	0.014	25	35
		0.47	–	2500	–	2.8	0.0065	32	37
	0.22	0.22	–	3400	–	2.2	0.014	24	38
		0.47	–	4100	–	1.7	0.0065	34	42
		1.0	–	4600	–	1.5	0.0035	38	44
	0.47	0.47	–	6600	–	1.1	0.0065	29	44
		1.0	–	8100	–	0.9	0.0035	38	46
		2.2	–	9100	–	0.8	0.002	43	47
300	0.1	0.1	–	1500	–	4.4	0.027	40	34
		0.22	–	1800	–	3.6	0.014	54	38
		0.47	–	2100	–	3.0	0.0065	63	41
	0.22	0.22	–	2600	–	2.5	0.013	51	42
		0.47	–	3200	–	1.9	0.0065	65	46
		0.1	–	3700	–	1.6	0.0035	77	48
	0.47	0.47	–	5200	–	1.2	0.006	61	48
		1.0	–	6300	–	1.0	0.0035	74	50
		2.2	–	7200	–	0.9	0.002	85	51

GRUPPO "A"

Valvole
5T8
6AQ6
6AT6
6CN7
6SL7-GT●
6T8
6T8-A
12AT6
12SL7-GT●
19T8

Ebb	Rp	Rg	Rg2	Rk	Cg2	Ck	C	Eo	V.G.
90	0.047	0.047	–	1600	–	3.2	0.061	9	10■
		0.1	–	1800	–	2.5	0.033	11	11★
		0.22	–	2000	–	2.0	0.015	14	11
	0.1	0.1	–	3000	–	1.6	0.032	10	11★
		0.22	–	3800	–	1.1	0.015	15	11
		0.47	–	4500	–	1.0	0.007	18	11
	0.22	0.22	–	6800	–	0.7	0.015	14	11
		0.47	–	9500	–	0.5	0.0065	20	11
		1.0	–	11500	–	0.43	0.0035	24	11
180	0.047	0.047	–	920	–	3.9	0.062	20	11
		0.1	–	1200	–	2.9	0.037	26	12
		0.22	–	1400	–	2.5	0.016	29	12
	0.1	0.1	–	2000	–	1.9	0.032	24	12
		0.22	–	2800	–	1.4	0.016	33	12
		0.47	–	3600	–	1.1	0.007	40	12
	0.22	0.22	–	5300	–	0.8	0.015	31	12
		0.47	–	8300	–	0.56	0.007	44	12
		1.0	–	10000	–	0.48	0.0035	54	12
300	0.047	0.047	–	870	–	4.1	0.065	38	12
		0.1	–	1200	–	3.0	0.034	52	12
		0.22	–	1500	–	2.4	0.016	68	12
	0.1	0.1	–	1900	–	1.9	0.032	44	12
		0.22	–	3000	–	1.3	0.016	68	12
		0.47	–	4000	–	1.1	0.007	80	12
	0.22	0.22	–	5300	–	0.9	0.015	57	12
		0.47	–	8800	–	0.52	0.007	82	12
		1.0	–	11000	–	0.46	0.0035	92	12

- ● Sezione triodo, ovvero una delle unità.
- ■ Guadagno di tensione misurato con uscita di 2 volt eff.
- ▲ Il condensatore di accoppiamento deve essere scelto in modo da consentire il responso desiderato alla frequenza. La resistenza di catodo deve avere in parallelo una capacità adeguata.
- ★ Con uscita di 4 volt eff.
- ●- Con uscita di 2 volt eff.

Valvole
6C4
7AU7●
12AU7-A●

GRUPPO "B"

E_{bb}	R_p	R_g	R_{g2}	R_k	C_{g2}	C_k	C	E_o	V.G.
90	0.047	0.047	–	1870	–	3.1	0.063	14	13
		0.1	–	2230	–	2.5	0.031	18	14
		0.22	–	2500	–	2.1	0.016	20	14
	0.1	0.1	–	3370	–	1.8	0.034	15	14
		0.22	–	4100	–	1.3	0.015	20	14
		0.47	–	4800	–	1.1	0.006	23	15
	0.22	0.22	–	7000	–	0.80	0.013	16	14
		0.47	–	9100	–	0.65	0.007	22	14
		1.00	–	10500	–	0.60	0.004	25	15
180	0.047	0.047	–	1500	–	3.6	0.066	33	14
		0.1	–	1860	–	2.9	0.055	41	14
		0.22	–	2160	–	2.2	0.015	47	15
	0.1	0.1	–	2750	–	1.8	0.028	35	15
		0.22	–	3550	–	1.4	0.015	45	15
		0.47	–	4140	–	1.3	0.007	51	16
	0.22	0.22	–	5150	–	1.0	0.016	36	16
		0.47	–	7000	–	0.71	0.007	45	16
		1.00	–	7800	–	0.61	0.004	51	16
300	0.047	0.047	–	1300	–	3.6	0.061	59	14
		0.1	–	1580	–	3.0	0.032	73	15
		0.22	–	1800	–	2.5	0.015	83	16
	0.1	0.1	–	2500	–	1.9	0.031	68	16
		0.22	–	3130	–	1.4	0.014	82	16
		0.47	–	3900	–	1.2	0.0065	96	16
	0.22	0.22	–	4800	–	0.95	0.015	68	16
		0.47	–	6500	–	0.69	0.0065	85	16
		1.00	–	7800	–	0.58	0.0035	96	16

GRUPPO "C"

Valvole
6CG7 ●
6J5
6J5-GT
6SN7-GTB ●
8CG7
12SN7-GT ●

E_{bb}	R_p	R_g	R_{g2}	R_k	C_{g2}	C_k	C	E_o	V.G.
90	0.1	0.1	–	4400	–	2.7	0.023	5	29 ●-
		0.22	–	4700	–	2.4	0.013	6	35 ●-
		0.47	–	4800	–	2.3	0.007	8	41 ●-
	0.22	0.22	–	7000	–	1.6	0.001	6	39 ●-
		0.47	–	7400	–	1.4	0.006	9	45 ■
		1.0	–	7600	–	1.3	0.003	11	48 ★
	0.47	0.47	–	12000	–	0.9	0.006	9	48 ■
		1.0	–	13000	–	0.8	0.003	11	52 ★
		2.2	–	14000	–	0.7	0.002	13	55 ★
180	0.1	0.1	–	1800	–	4.0	0.025	18	40
		0.22	–	2000	–	3.5	0.013	25	47
		0.47	–	2200	–	3.1	0.006	32	52
	0.22	0.22	–	3000	–	2.4	0.012	24	53
		0.47	–	3500	–	2.1	0.006	34	59
		1.0	–	3900	–	1.8	0.003	39	63
	0.47	0.47	–	5800	–	1.3	0.006	30	62
		1.0	–	6700	–	1.1	0.003	39	66
		2.2	–	7400	–	1.0	0.002	45	68
300	0.1	0.1	–	1300	–	4.6	0.027	43	45
		0.22	–	1500	–	4.0	0.013	57	52
		0.47	–	1700	–	3.6	0.006	66	57
	0.22	0.22	–	2200	–	3.0	0.013	54	59
		0.47	–	2800	–	2.3	0.006	69	65
		1.0	–	3100	–	2.1	0.003	79	68
	0.47	0.47	–	4300	–	1.6	0.006	62	69
		1.0	–	5200	–	1.3	0.003	77	73
		2.2	–	5900	–	1.1	0.002	92	75

● Sezione triodo, ovvero una delle unità.

■ Guadagno di tensione misurato con uscita di 2 volt eff.

▲ Il condensatore di accoppiamento deve essere scelto in modo da consentire il responso desiderato alla frequenza. La resistenza di catodo deve avere in parallelo una capacità adeguata.

★ Con uscita di 4 volt eff.

●- Con uscita di 2 volt eff.

Valvole
3AV6
6AV6
6EU7 ●
12AV6
12AX7 ●
7025 ●

GRUPPO "D"

Ebb	Rp	Rg	Rg2	Rk	Cg2	Ck	C	Eo	V.G.
		0.047	–	1800	–	2.9	0.060	9	10●–
	0.047	0.1	–	2100	–	2.4	0.033	12	11■
		0.22	–	2200	–	2.3	0.016	14	21★
		0.1	–	3200	–	1.8	0.027	10	12■
90	0.1	0.22	–	3900	–	1.3	0.015	13	13★
		0.47	–	4300	–	1.0	0.007	16	13
		0.22	–	6200	–	0.87	0.015	12	13■
	0.22	0.47	–	8100	–	0.53	0.006	16	13
		1.00	–	9000	–	0.49	0.003	19	14
		0.047	–	1200	–	3.5	0.063	21	12
	0.047	0.1	–	1600	–	2.6	0.033	29	13
		0.22	–	1800	–	2.4	0.016	35	13
		0.1	–	2200	–	1.9	0.031	26	13
180	0.1	0.22	–	2900	–	1.35	0.015	33	14
		0.47	–	3400	–	1.1	0.007	40	14
		0.22	–	4500	–	0.92	0.015	28	14
	0.22	0.47	–	6400	–	0.61	0.006	39	14
		1.00	–	8200	–	0.52	0.003	47	14
		0.047	–	1100	–	3.9	0.063	42	13
	0.047	0.1	–	1500	–	2.8	0.033	65	13
		0.22	–	1700	–	2.5	0.016	71	14
		0.1	–	2000	–	2.1	0.032	45	15
300	0.1	0.22	–	3400	–	1.4	0.015	74	15
		0.47	–	3700	–	1.1	0.007	83	15
		0.22	–	4300	–	0.97	0.015	50	15
	0.22	0.47	–	7200	–	0.63	0.007	88	15
		1.00	–	7400	–	0.63	0.003	94	15

GRUPPO "E"

Valvola

5879

Ebb	Rp	Rg	Rg2	Rk	Cg2	Ck	C	Eo	V.G.
		0.1	–	3900	–	1.8	0.024	10	18
	0.1	0.22	–	4000	–	1.6	0.014	12	20
		0.47	–	4030	–	1.36	0.0075	13	20
		0.22	–	7600	–	1.0	0.012	12	21
90	0.22	0.47	–	7500	–	0.86	0.0079	13	24
		1.0	–	7800	–	0.81	0.0056	15	25
		0.47	–	14000	–	0.49	0.0064	13	23
	0.47	1.0	–	14000	–	0.49	0.0053	15	24
		2.2	–	15000	–	0.45	0.005	15	25
		0.1	–	1160	–	3.2	0.027	15	25
	0.1	0.22	–	1220	–	2.8	0.015	18	29
		0.47	–	1240	–	2.4	0.009	19	30
		0.22	–	2600	–	1.63	0.014	18	29
180	0.22	0.47	–	2630	–	1.4	0.0083	19	31
		1.0	–	2700	–	1.3	0.006	20	28
		0.47	–	5600	–	0.83	0.008	19	29
	0.47	1.0	–	5700	–	0.71	0.0056	20	31
		2.2	–	5600	–	0.66	0.0048	21	32
		0.1	–	740	–	4.8	0.031	21	35
	0.1	0.22	–	740	–	3.9	0.016	24	41
		0.47	–	750	–	3.3	0.009	25	43
		0.22	–	1200	–	2.4	0.0154	24	40
300	0.22	0.47	–	1230	–	1.8	0.0086	23	35
		1.0	–	1250	–	1.6	0.006	24	36
		0.47	–	2800	–	1.05	0.0085	22	36
	0.47	1.0	–	2800	–	0.94	0.006	23	38
		2.2	–	2900	–	0.90	0.0058	23	37

● Sezione triodo, ovvero una delle unità.

■ Guadagno di tensione misurato con uscita di 2 volt eff.

▲ Il condensatore di accoppiamento deve essere scelto in modo da consentire il responso desiderato alla frequenza. La resistenza di catodo deve avere in parallelo una capacità adeguata.

★ Con uscita di 4 volt eff.

●– Con uscita di 2 volt eff.

Valvole

6AB4■

12AT7●■

GRUPPO "F"

Ebb	Rp	Rg	Rg2	Rk	Cg2	Ck	C	Eo	V.G.
		0.047	–	2270	–	2.6	0.046	6	14
	0.047	0.1	–	2000	–	2.5	0.028	10	16
		0.22	–	2060	–	2.3	0.015	11	18
		0.1	–	3800	–	1.62	0.026	10	16
90	0.1	0.22	–	4000	–	1.3	0.0137	12	19
		0.47	–	4000	–	1.3	0.0086	13	20
		0.22	–	7600	–	0.8	0.013	11	19
	0.22	0.47	–	8000	–	0.7	0.008	12	20
		1.0	–	8000	–	0.65	0.0057	13	20
		0.047	–	760	–	5.6	0.059	16	20
	0.047	0.1	–	770	–	4.8	0.032	18	25
		0.22	–	760	–	4.2	0.016	19	27
		0.1	–	1400	–	2.8	0.03	17	24
180	0.1	0.22	–	1500	–	2.3	0.015	18	23
		0.47	–	1500	–	2.1	0.009	19	27
		0.22	–	2600	–	1.4	0.015	16	23
	0.22	0.47	–	2600	–	1.15	0.0088	18	25
		1.0	–	2600	–	1.05	0.006	18	26
		0.047	–	360	–	7.4	0.062	21	28
	0.047	0.1	–	360	–	6.0	0.032	22	29
		0.22	–	370	–	5.1	0.016	23	30
		0.1	–	720	–	3.8	0.032	21	28
300	0.1	0.22	–	700	–	3.0	0.016	22	30
		0.47	–	700	–	2.6	0.009	23	31
		0.22	–	1200	–	1.9	0.016	21	29
	0.22	0.47	–	1500	–	1.5	0.009	21	30
		1.0	–	1500	–	1.2	0.006	22	30

GRUPPO "G"

Valvole
4BQ7-A●■
4BZ7 ●■
5BK7-A●■
5BQ7-A●■
6BK7-B●■
6BQ7-B●■
6BZ7●■

Ebb	Rp	Rg	Rg2	Rk	Cg2	Ck	C	Eo	V.G.
		0.047	–	1200	–	3.1	0.058	6	13
	0.047	0.1	–	1200	–	2.64	0.031	7	13
		0.22	–	1210	–	2.38	0.015	7	14
		0.1	–	2200	–	1.63	0.031	7	13
90	0.1	0.22	–	2250	–	1.26	0.015	7	13
		0.47	–	2200	–	1.12	0.0086	7	9
		0.22	–	2300	–	1.28	0.015	8	13
	0.22	0.47	–	4600	–	0.61	0.0085	7	13
		1.0	–	4500	–	0.55	0.0055	7	13
		0.047	–	530	–	4.6	0.061	9	15
	0.047	0.1	–	530	–	3.6	0.033	9	16
		0.22	–	550	–	3.0	0.0158	10	16
		0.1	–	1010	–	2.3	0.032	9	15
180	0.1	0.22	–	1400	–	1.5	0.0153	8	15
		0.47	–	1500	–	1.4	0.0087	9	16
		0.22	–	2200	–	0.98	0.0157	8	14
	0.22	0.47	–	2100	–	0.75	0.0087	8	15
		1.0	–	2100	–	0.60	0.0056	8	15
		0.047	–	220	–	4.4	0.063	11	19
	0.047	0.1	–	300	–	3.3	0.033	11	19
		0.22	–	330	–	2.3	0.016	11	19
		0.1	–	520	–	2.3	0.032	10	17
300	0.1	0.22	–	600	–	1.4	0.015	10	18
		0.47	–	630	–	0.9	0.009	10	18
		0.22	–	1000	–	0.9	0.015	9	17
	0.22	0.47	–	1200	–	0.62	0.0088	8	17
		1.0	–	1300	–	0.60	0.0057	8	17

● Sezione triodo, ovvero una delle unità.

■ Guadagno di tensione misurato con uscita di 2 volt eff.

▲ Il condensatore di accoppiamento deve essere scelto in modo da consentire il responso desiderato alla frequenza. La resistenza di catodo deve avere in parallelo una capacità adeguata.

★ Con uscita di 4 volt eff.

◆ Con uscita di 2 volt eff.

Valvola
7199 ■

GRUPPO "H"

a
giorni il nuovo fascicolo
di
"RADIO e TELEVISIONE,,

E' — come sempre — un numero di alto interesse per il suo ricco contenuto. Vi troverete, tra l'altro:

— Un articolo sulla registrazione magnetica, particolarmente dedicato alle **misure sul rendimento dei registratori**, un argomento sul quale non è facile trovare letteratura tecnica in italiano.

— Un articolo dedicato ad un esame delle **caratteristiche** e delle **principali applicazioni dei transistori**, con particolare riguardo al progetto dei radioricevitori. L'Autore — ingegnere, dirigente presso un grande complesso industriale specializzato nel ramo — tratta con vera competenza e praticità dei problemi e delle soluzioni relative.

— Agli impulsi si fa sovente ricorso nelle apparecchiature che riguardano le applicazioni dell'elettronica all'industria: un chiaro scritto su questo soggetto vi informa sui **circuiti generatori di impulsi.**

— Ai tecnici di Laboratorio interesserà certamente il **« tracciatore di curve » per semiconduttori** (diodi e transistori) che costituisce oggetto di un articolo tecnico descrittivo, con dati relativi alla realizzazione.

— **« Fotomoltiplicatori e scintillatori per rivelazioni di radiazioni nucleari »** è il titolo di un altro articolo contenuto in questo fascicolo. In tale articolo si esaminano le soluzioni più recenti e razionali adottate per pervenire ad apparecchiature semplici e di estremo rendimento.

— Infine, un argomento mai trattato in Italia, con un'analisi tecnico analitica così completa: **la termoelettricità.** Sono esposti, oltre che i principî, anche le più recenti e convenienti applicazioni, e i criteri di progetto di realizzazioni pratiche. E' assai opportuno seguire oggi il rapido evolversi di questa tecnica che è destinata a rivoluzionare non poche branche produttive basate su altri sistemi tradizionali.

Completano il fascicolo le abituali rubriche, e cioè un notiziario relativo ad avvenimenti riguardanti la tecnica elettronica, da tutto il mondo; una recensione di libri ed opuscoli; gli avvisi gratuiti, a disposizione indistintamente di tutti i lettori; un esame di apparecchiature del commercio; un breve riassunto di importanti articoli di riviste straniere, ecc. ecc.

Abbonamento per 12 Numeri. . . . . lire 3.060.
Per gli abbonati al "Corso di Radiotecnica,, ... solo lire 2.754.

Abbonamento: "RADIO e TELEVISIONE,, - via dei Pellegrini N. 8/4, conto corrente postale: 3/4545 - Milano

Una copia, alle edicole, lire 300

Prenotatela presso il vostro giornalaio.

Comunicategli che il servizio di distribuzione per tutta l'Italia è affidato alla spett. Diffusione Milanese - Via Soperga 57 - Milano.

Questo fascicolo può essere comunque anche il primo di un vostro abbonamento.

L'abbonamento non ha riferimento all'anno solare e vi da sempre diritto a ricevere 12 Numeri: inoltre, vi invieremo 4 fascicoli in omaggio, da voi scelti tra quelli disponibili, anteriori al N. 96.

Se non disponete del N. 97 potete farlo includere nell'abbonamento.

Mantenetevi aggiornati con la tecnica radio-TV leggendo assiduamente

« RADIO e TELEVISIONE »

Per la costruzione delle vostre apparecchiature radio, la Ditta GIAN BRUTO CASTELFRANCHI è in grado di fornirvi tutto il materiale occorrente. Rivolgetevi alla più vicina delle sue sedi o direttamente alla sede Centrale - Via Petrella, N. 6 - Milano.

SEDI

AVELLINO - Via Vitt. Emanuele, 122
BARI - Piazza Garibaldi, 58
BOLOGNA - Via R. Reno, 62
BENEVENTO - Corso Garibaldi, 12
BERGAMO - Via S. Bernardino, 28
CIVITANOVA - Corso Umberto, 77
CAGLIARI - Via Rossini, 44
CATANIA - Via Cimarosa, 10
CREMONA - Via Cesari, 1

FIRENZE - Viale Belfiore, 8 r
GENOVA - Piazza J. da Varagine 7/8 r
LA SPEZIA - Via Persio, 5 r
MANTOVA - Via Arrivabene, 35
NAPOLI - Via Camillo Porzio, 10 a/b
PALERMO - Piazza Castelnuovo, 48
PADOVA - Via Beldomandi, 1
ROMA - Via S. Agostino, 14
TORINO - Via Nizza, 34

Ricordate che, disponendo del "CATALOGO ILLUSTRATO GBC", potrete con facilità individuare le parti staccate che vi interessano: è un grosso volume di ben 613 pagine che potrete richiedere - con versamento di lire 1000 - all'indirizzo citato.

Dal 1931 su tutti i mercati del mondo

PARTI STACCATE PER RADIO - TELEVISIONE - AMPLIFICAZIONE - APPARECCHI ELETTRONICI

IMPEDENZE DI FILTRO - STABILIZZATORI DI TENSIONE - MICRORELAIS - FILTRO SILENZIATORE
CONDENSATORI ELETTROLITICI - VIBRATORI - SURVOLTORI - INVERTITORI - TRASFORMATORI

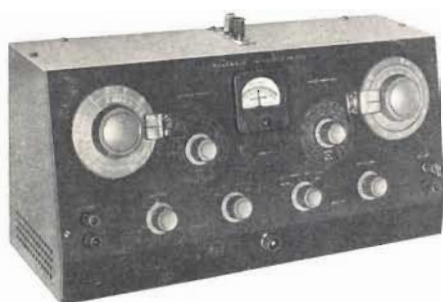
CHIEDETE IL LISTINO DELLE PARTI STACCATE

Direzione Centrale: **GELOSO** S.p.A. Viale Brenta 29 - MILANO 808

HEATH COMPANY

a subsidiary of Daystrom, Inc.

MODELLO

IB-2A

CARATTERISTICHE

Circuiti	A ponte con quattro rami
Misure in c.c.	Incorpora un alimentatore che funziona a 110 Volt c.a. Sono previsti dei morsetti per l'impiego di un alimentatore esterno.
Strumento indicatore	100 - 0 - 100 microampère
Misure in c.c.	Incorpora un generatore 1000 Hz. Sono previsti dei morsetti per l'impiego di un generatore esterno per misure ad altre frequenze
Rivelatore	Rivelatore con tubo a vuoto ed uso di uno strumento ad indice incorporato. Desiderando impiegare un rivelatore esterno questo è reso possibile da due serrafili all'uopo previsti
Resistenze	0,1 ohm ÷ 10 Megaohm
Capacità	10 pF ÷ 100 microfarad
Induttanza	10 microHenry ÷ 100 Henry
Fattore di dissipazione	(D) 0,002 ÷ 1
Fattore di merito	(Q) 0,1 ÷ 1000
Precisione	Delle resistenze decadali 0,5 ÷ 1% Resistenza ± 3% Capacità ± 3% Induttanza ± 10% fattore di dissipazione D = ωCR ± 20% Fattore di merito (Q = ωL/R) ± 20% La percentuale di errore aumenta gli estremi di gamma
Tubi elettronici	2 - 1U4 e 2 - 1L4
Alimentatore	Con trasformatore e rettificatore al Selenio
Dimensioni	altezza 20; larghezza 42; profondità 15 cm.
Alimentazione	105 ÷ 125 Volt c.a.; 50 ÷ 60 Hz; 10 Watt

RAPPRESENTANTE GENERALE PER L'ITALIA

soc. r. l. MILANO P.zza 5 GIORNATE 1
Telefoni: 795.762 - 795.763

AGENTI ESCLUSIVI DI VENDITA PER: LAZIO - UMBRIA - ABRUZZI
Soc. FILC RADIO - ROMA
Piazza Dante, 10 - Telefono 736.771

EMILIA - MARCHE
Ditta A. ZANIBONI - BOLOGNA
Via Azzogardino, 2 - Telefono 263.359

corso di
RADIOTECNICA

pubblicazione settimanale - 18 - 25 febbraio 1961 - un fascicolo lire 150 21° numero

corso di
RADIOTECNICA

settimanale a carattere culturale

Direzione, Amministrazione, Pubblicità:
Via dei Pellegrini 8/4 - Telef. 593.478
MILANO

Ogni fascicolo — contenente 3 lezioni — costa lire 150, acquistato alle edicole.

Se l'edicola risulta sprovvista, o si teme di rimanere privi di qualche numero, si chieda invio settimanale direttamente al proprio domicilio a mezzo abbonamento.

Il versamento per ricevere i 52 fascicoli costituenti l'intero Corso è di lire 6500 + I.G.E. = lire 6630. A mezzo vaglia postale, assegno bancario, o versamento sul conto corr. postale 3/41.203 del « Corso di RADIOTECNICA » - Via dei Pellegrini 8-4 - Milano. In ogni caso, scrivere in modo molto chiaro e completo il proprio indirizzo.

L'abbonamento può essere effettuato in qualsiasi momento; si intende comprensivo delle lezioni pubblicate e dà diritto a ricevere tali lezioni, che saranno inviate con unica spedizione.

Estero: abbonamento al Corso, Lit. 8.500. ($ 15). Numeri singoli Lit. 300 ($ 0,50).

Per i cambi di indirizzo durante lo svolgimento del Corso, unire lire 100, citando sempre il vecchio indirizzo.

Fascicoli singoli arretrati — se disponibili — possono essere ordinati a lire 300 cadauno. Non si spedisce contrassegno.

Distribuzione alle edicole di tutta Italia: Diffus. Milanese . Via Soperga, 57 - Milano.

Direttore responsabile: Giulio Borgogno.

Autorizzaz. N. 5357 - Tribunale di Milano.

Stampa: Intergrafica S.r.l. - Cologno Monzese.

La Direzione non rivende materiale radio; essa può comunicare, se richiesta, indirizzi di Fabbricanti, Importatori, Grossisti ecc. in grado di fornire il necessario ed ai quali il lettore può rivolgersi direttamente.

Alla corrispondenza con richiesta di informazioni ecc. si prega allegare sempre il **francobollo per la risposta.**

Parte del testo e delle illustrazioni è dovuta alla collaborazione del Bureau of Naval Personnel, nonchè al Dept. of the Army and the Air Force - U.S.A.

A chi può essere utile questo Corso? Anzitutto — stante la sua impostazione — il Corso, basato sull'esposizione in forma a tutti accessibile, della radiotecnica, dai suoi elementi basilari alla evoluzione più recente, rappresenta la forma ideale per tutti coloro che intendono dedicarsi all'elettronica, sia come forma ricreativa sia — soprattutto — per l'acquisizione di una professione specializzata che possa procurare loro una posizione di privilegio in seno alla società odierna.

Anno per anno, la nostra civiltà si indirizza sempre più verso questa meravigliosa, si potrebbe dire fascinosa, elettronica, che nel modo più evidente consente sviluppi impensati, progressi grandiosi e una rapida evoluzione di tutti gli altri rami dello scibile che essa tocca e influenza.

L'industria, tutta l'industria, nel senso più ampio, da quella elettrotecnica a quella meccanica, alla metallurgica, alla chimica ecc., con i suoi laboratori di ricerca e le sue fabbriche richiede, e richiederà sempre più, con un ritmo rapidamente crescente, tecnici specializzati con conoscenza dell'elettronica, tecnici specificatamente elettronici e persino operai e impiegati di ogni ordine e categoria con cognizioni di elettronica.

Si può dire che anche le branche commerciali, quelle dei trasporti e persino quelle amministrative con le recenti introduzioni delle calcolatrici, abbisognano di personale che conosca i principi dell'elettronica, le macchine relative, il loro pieno sfruttamento, la eventuale riparazione ecc. e, quanto più in modo completo, quanto meglio.

Nasce, da una tale situazione, una logica conseguenza: per la scelta di una professione o di un mestiere, per un miglioramento della propria posizione sociale, per l'intrapresa di una libera attività o anche per la sola acquisizione di cognizioni che indubbiamente verranno oltremodo utili, è quanto mai opportuno riflettere se non sia conveniente dedicare un po' di tempo allo studio di questa scienza che ha tra l'altro il pregio di rendersi immediatamente attraente, concreta, accessibile e foriera di moltissime soddisfazioni.

A questo scopo appunto, e con questi intenti, è stato redatto questo Corso.

Non mancano invero altri corsi (specie per corrispondenza) o scuole di radiotecnica, nè mancano (sebbene siano in numero del tutto inadeguato) scuole statali o pareggiate ma la struttura e l'impostazione che caratterizzano queste 156 lezioni sono alquanto particolari, presentando non pochi vantaggi sulle diverse altre forme di cui si è detto.

Anzitutto vogliamo porre in evidenza **il fattore economico.**

Frequentare regolarmente, durante tutto l'anno, una scuola è certo il modo più logico — anche se non il più rapido — per apprendere ma, tralasciando il fatto che rarissimi sono gli Istituti di radiotecnica, è a tutti possibile dedicarsi esclusivamente, e per l'intero anno, allo studio? Noi riteniamo che chi può farlo costituisca oggi assai più l'eccezione che la regola. Ciò significa infatti poter disporre liberamente del proprio tempo senza avere la necessità di un contemporaneo guadagno: il nostro Corso permette a chiunque di studiare a casa propria, nelle ore libere dal lavoro, senza abbandonare o trascurare quest'ultimo. Ciò caratterizza invero anche altri corsi, ma il vantaggio economico diviene notevole ed evidentissimo se si considera che di fronte all'esborso, anche se rateale, di quasi 80.000 lire che i corsi per corrispondenza richiedono, seguendo il nostro Corso la spesa in un anno risulta di poco più di 7500 lire (150 lire alla settimana presso un'edicola) o di 6630 lire totali, con recapito postale, settimanale, delle lezioni a domicilio.

E' superfluo dire che la Modulazione di Frequenza, i transistori, i circuiti stampati, la trasmissione, il telecomando ecc. sono argomenti integrali del Corso e non costituiscono motivo di corsi speciali, aggiunti o particolari.

Le lezioni di questo Corso — a differenza di molte altre — non sono stampate con sistemi di dispensa, a ciclostile, o con sistemi più o meno analoghi, derivanti cioè da un originale battuto a macchina da scrivere; esse sono stampate in uno stabilimento grafico, con chiari caratteri tipografici da cui deriva una assai più agevole lettura e — fattore certamente di non secondaria importanza — un contenuto molto più ampio, corrispondendo una pagina a stampa a tre o quattro pagine di quelle citate. Il lettore avrà, alla fine del Corso, un volume di ben 1248 pagine di grande formato!

Chiunque, indipendentemente dall'età, dalla professione e dalle scuole compiute **può seguire il Corso.** Alle esposizioni teoriche si abbinano numerose, attraenti, istruttive ed utili descrizioni che consentono la realizzazione di ricevitori, amplificatori, strumenti vari e persino di trasmittenti su onde corte.

A questo proposito è sintomatico il fatto che la Direzione non vuole assolutamente assumere la fisionomia di un fornitore o commerciante di materiale radio, rivendendo agli allievi le parti necessarie. Il materiale occorrente l'interessato può acquistarlo dove e come meglio crede e, assai spesso anzi, già ne dispone. Viene così evitato l'acquisto forzoso, caratteristico più o meno di tutti gli altri corsi.

Anche chi è già radiotecnico, anche chi ha seguito o segue altri corsi troverà il massimo tornaconto in questo completo ed aggiornato lavoro. Molte nozioni, è logico, saranno note, altre un po' meno e sarà utile rinfrescarle, e il tutto infine costituirà un manuale di consultazione, prezioso tanto per la teoria esposta quanto per i numerosi schemi, per le tabelle, per i grafici, gli elenchi, i dati, il vocabolario dei termini ecc.

Concludendo, si può affermare che questo **Corso di Radiotecnica** oltre che come insegnamento graduale si presenta come **enciclopedia e rivista assieme** ciò che permette di formare — con modestissima spesa — **il più completo, ricco, utile e pratico volume di radiotecnica di cui sia dato oggigiorno disporre.**

MODULAZIONE e DEMODULAZIONE

Sinora, ogni volta che si è presentata la necessità di citare il fenomeno della modulazione — quel particolare accorgimento mediante il quale si rende possibile utilizzare un'onda portante per trasmettere voci e suoni — ci siamo limitati ad un vero e proprio cenno, senza dare cioè una spiegazione analitica dei sistemi, delle caratteristiche e delle particolarità che caratterizzano questa tecnica.

Nel corso di questa lezione esamineremo il problema un po' più da vicino, specialmente riferendoci ai vantaggi ed agli inconvenienti dei diversi sistemi possibili posti a confronto tra loro. Pur non essendo più un semplice cenno, quanto esporremo non chiuderà tuttavia, l'argomento: infatti, dovremo occuparci ulteriormente della modulazione sia allorchè tratteremo della trasmissione, sia allorchè (e sarà tra non molto) ci interesseremo di uno dei più attuali sistemi, quello detto a « modulazione di frequenza ».

A questo punto, affinchè l'argomento possa essere esposto con la chiarezza necessaria ad una integrale comprensione, dobbiamo necessariamente richiamare concetti già noti, perchè è proprio ai loro immediati riferimenti che fa capo la spiegazione dei singoli sviluppi tecnici.

CARATTERISTICA dell'ONDA PORTANTE

Il segnale a radiofrequenza usato per trasmettere impulsi sonori da un punto ad un altro è chiamato, dunque, « onda portante ». Esso consiste in un'onda elettromagnetica che presenta ovviamente una data ampiezza, una propria frequenza ed una data fase. Se le variazioni di tensione di un segnale a radiofrequenza vengono rappresentate graficamente in funzione del tempo, il risultato è la nota forma d'onda illustrata alla **figura 1.** La figura rappresenta un'onda portante non modulata; è, evidentemente, identica alle forme che abbiamo incontrato nell'analisi delle variazioni di corrente, di tensione, ecc., e può essere efficacemente impiegata per studiare le caratteristiche generali dell'onda portante stessa. L'onda portante non modulata non è altro che un'onda sinusoidale che si ripete ad intervalli di tempo definiti. Il potenziale sale prima al massimo valore positivo per scendere poi al massimo valore negativo, nei riferimenti dell'asse del tempo, ed ogni sinusoide rappresenta variazioni di ampiezza dell'onda. Il fenomeno è identico a quello descritto a suo tempo a proposito della corrente alternata in un conduttore, ove le varie ondulazioni rappresentano le inversioni di direzione del flusso di corrente. E' necessario ricordare che i segni « più » e « meno » indicano unicamente la direzione.

Il punto di partenza della curva di figura 1 è stato scelto arbitrariamente; avrebbe potuto essere scelto in qualunque altro punto dell'onda, col medesimo risultato. Tuttavia, una volta scelto il punto di partenza, esso rappresenta anche il punto nel quale ha inizio la misura del tempo considerato. Nel nostro caso esso si trova nel punto culminante di una semionda positiva, dopo di che la curva raggiunge il massimo potenziale negativo passando attraverso il valore 0, per poi ritornare al punto di partenza, attraversando nuovamente il punto di 0. Le variazioni di ampiezza che si verificano in questo intervallo di tempo si ripetono sempre nella stessa entità e nello stesso modo se l'onda non è modulata. La serie completa di punti che esprimono l'ampiezza in ogni istante di detto periodo di tempo, indipendentemente dal punto di partenza, costituisce un ciclo o periodo dell'onda portante. Ciò può essere verificato nella figura, nella quale sono indicati due cicli con due differenti punti di partenza: il numero di cicli che si verifica in un secondo (Hertz) è detto, come già ben sappiamo, frequenza dell'onda.

MODULAZIONE di AMPIEZZA

In relazione al suono da trasmettere si può far variare o **l'ampiezza,** o la **fase,** o la **frequenza** di un'onda portante; il processo mediante il quale si ottiene la variazione di una di tali caratteristiche si chiama **modulazione.** I tre sistemi di modulazione sono perciò il sistema di modulazione di ampiezza, quello di modulazione di fase e quello di modulazione di frequenza. Essi vengono indicati spesso da sigle, ossia **MA**, per modulazione di ampiezza (in inglese AM), **FM** (per modulazione di frequenza) e **PM** per modulazione di fase.

Altri tipi di modulazione, come ad esempio la modulazione ad impulsi, possono essere considerati come suddivisioni o derivati dei tre sistemi citati.

Se si usa una tensione sinusoidale per modulare in ampiezza l'onda portante, l'ampiezza istantanea della stessa varia in maniera sinusoidale. La massima ampiezza da essa raggiunta, sia in senso positivo che in senso negativo, viene denominata **ampiezza di picco.** I picchi positivi e negativi sono eguali, e l'oscillazione completa del ciclo dal massimo positivo al massimo

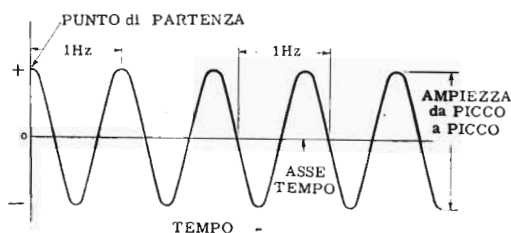
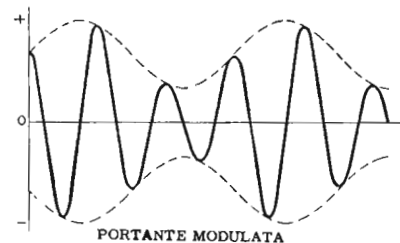



Fig. 1 — In questa rappresentazione grafica dell'onda è messo in evidenza, tra l'altro, che il ciclo può essere considerato a partire da qualsiasi punto: riferito al tempo di 1 secondo prende il nome di Hertz. Il numero di Hertz (cicli in un secondo) definisce la frequenza dell'onda.

Fig. 2 — Il segnale di Bassa Frequenza rappresentato in alto, applicato all'onda portante ne varia la ampiezza tra picco e picco così come appare nella figura riportata sotto.

negativo si chiama ampiezza **da picco a picco**.

Se consideriamo solo quest'ultima, possiamo dire che l'ampiezza di quell'onda è costante: e ciò costituisce, come sappiamo, la caratteristica generica della portante non modulata.

Nella modulazione di ampiezza, l'ampiezza tra picco e picco della portante viene variata a seconda delle onde sonore da trasmettere. Ad esempio, la voce captata da un microfono viene convertita in un segnale ad audiofrequenza (B.F.), che controlla l'ampiezza della portante. Un suono singolo, avviato al microfono, modula la portante nel modo visibile alla **figura 2**. In essa i picchi della portante non hanno più un'ampiezza costante in quanto seguono le variazioni istantanee di ampiezza del segnale ad audiofrequenza. Quando quest'ultimo varia in senso positivo i picchi della portante aumentano in conformità, mentre, allorché la variazione del segnale audio avviene in senso negativo, l'ampiezza della portante diminuisce. Da ciò si deduce che **l'ampiezza istantanea dei segnali modulanti ad audiofrequenza determina l'ampiezza tra picco e picco della portante modulata.**

Percentuale di modulazione

Nella modulazione di ampiezza è uso comune esprimere il grado di modulazione della portante in *percentuale di modulazione*. Quando l'ampiezza tra picco e picco del segnale modulante è eguale a quella tra picco e picco della portante non modulata, si dice che la portante è modulata al 100%. Nella **figura 3** la tensione modulante E_A è eguale, picco a picco, a quella della portante E_R, e l'ampiezza tra picco e picco di quest'ultima varia tra $2E_R$ o $2E_A$ e 0. In altre parole, il segnale modulante oscilla con ampiezza sufficiente a raddoppiare l'ampiezza della portante tra picco e picco durante i semiperiodi positivi, e da ridurla a zero durante quelli negativi.

Se E_A è inferiore ad E_R, la percentuale di modulazione è inferiore al 100%. Se E_A è pari alla metà di E_R, la percentuale ammonta soltanto al 50% (vedi **figura 4**). Quando il segnale modulante raggiunge il valore massimo nella direzione positiva, l'ampiezza della portante aumenta del 50%, mentre diminuisce della medesima entità durante i semiperiodi negativi.

E' anche possibile aumentare la percentuale di modulazione ad un valore superiore al 100%, facendo in modo che E_A sia maggiore di E_R, come illustrato alla **figura 5**. In essa, l'onda portante modulata viene fatta variare da 0 ad un'ampiezza picco a picco maggiore di $2E_R$.

Dal momento che l'ampiezza tra picco e picco della portante non può essere inferiore a 0, la stessa viene completamente annullata per tutti i valori negativi di E_A maggiori di E_R. Ciò si traduce in un segnale distorto, e la comprensione del segnale modulante viene compromessa in ricezione. Ne consegue che la percentuale di modulazione nei sistemi di comunicazione a modulazione di ampiezza è limitata a valori compresi tra 0 e 100%.

La percentuale effettiva di modulazione di una portante può essere calcolata in modo semplice mediante la seguente formula:

$$M = \% \text{ di modulazione } = \frac{E_{MAX} - E_{MIN}}{E_{MAX} + E_{MIN}} \times 100$$

nella quale E_{MAX} è l'ampiezza massima ed E_{MIN} è l'ampiezza minima tra picco e picco della portante modulata. Supponiamo, ad esempio, che una portante modulata vari in ampiezza da picco a picco, da 10 a 30 volt. Sostituendo nella formula citata, 30 a E_{MAX} e 10 ad E_{MIN}, si ottiene:

$$M = \frac{30 - 10}{30 + 10} \times 100 = \frac{20}{40} \times 100 = 50\%$$

Tale formula è esatta soltanto per percentuali comprese tra 0 e 100 per cento.

Bande laterali

Quando i segnali di due oscillatori di appropriata frequenza sono abbinati si hanno, nell'uscita comune, le due frequenze originali e due altre frequenze, pari alla somma e alla loro differenza. Questo fenomeno si manifesta anche nel processo di modulazione, tra la portante e la frequenza audio di modulazione: le frequenze derivanti dal loro incontro (detto *battimento*) si chiamano **bande laterali**

Supponiamo che una frequenza audio di 1000 Hz moduli una portante di 500 kHz. La portante modulata consiste allora, principalmente di tre frequen-

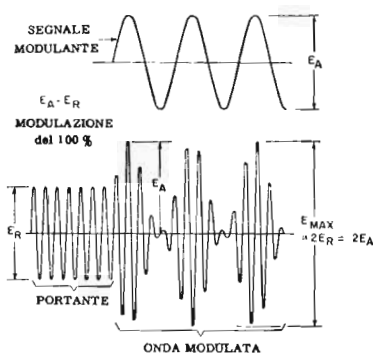



Fig. 3 — Per una modulazione al 100% il segnale modulante oscilla con ampiezza sufficiente a raddoppiare o a ridurre a zero l'ampiezza della portante.

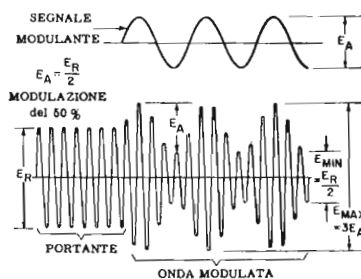



Fig. 4 — Se la tensione modulante è pari a metà della tensione della portante, la percentuale di modulazione ammonta al 50%.

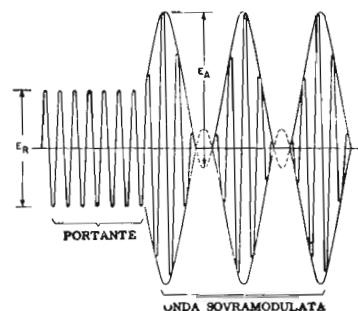



Fig. 5 — Con una tensione modulante maggiore di quella portante si ottiene una modulazione superiore al 100% e una conseguente distorsione.

ze componenti, ossia della portante originale a 500 kHz, della somma tra la frequenza audio e la radiofrequenza, (501 kHz), e della differenza tra le due frequenze, ossia 499 kHz.

La componente a 501 kHz viene denominata *banda laterale superiore*, e quella a 499 kHz *banda laterale inferiore*. Dal momento che nella modulazione di ampiezza entrambe sono sempre presenti, l'onda modulata consiste in una frequenza centrale, una frequenza laterale superiore ed una frequenza laterale inferiore. L'ampiezza individuale di ciascun componente è di valore costante, ma l'onda risultante varia in ampiezza in accordo col segnale acustico.

La **figura 6** rappresenta la portante e le due frequenze laterali dell'esempio citato: ognuna è collocata in relazione alla sua frequenza ed è riportata con riferimento alla sua ampiezza. Il segnale modulante, f_A, batte con la portante, f_C, e produce la frequenza laterale superiore, f_H, e quella inferiore, f_L. La portante modulata occupa pertanto una sezione dello spettro a radiofrequenza, la quale si estende da f_L a f_H, vale a dire per 2 kHz. Per ricevere tale segnale, il ricevitore deve avere gli stadi a radiofrequenza la cui larghezza di banda ammonti a 2 kHz. In altre parole, quando esso è sintonizzato su 500 kHz, deve essere in grado di ricevere anche le frequenze di 499 kHz e di 501 kHz con minima perdita di responso.

La gamma delle frequenze acustiche si estende, come ben sappiamo, approssimativamente da 16 a 16.000 Hz. Per uniformarsi alla frequenza più alta, vale a dire per includerla, il canale della modulazione di ampiezza deve essere esteso da 16 kHz al di sotto a 16 kHz al di sopra della frequenza portante, ed il ricevitore deve presentare una larghezza di banda corrispondente. Ne consegue che, se la frequenza della portante è di 500 kHz, il canale MA deve estendersi da 484 a 516 kHz. Ciò rappresenta la larghezza di banda ideale: tuttavia, in pratica, l'intera ampiezza di banda MA per la riproduzione acustica raramente raggiunge i 16 kHz.

Per ogni assieme specifico di audiofrequenze modulanti, il canale MA, ossia la larghezza di banda, ammonta al doppio della frequenza acustica più elevata.

L'energia a radiofrequenza, irradiata dall'antenna del trasmettitore sotto forma di una portante modulata, è divisa tra la portante stessa e le due bande laterali. Con una componente portante di 1.000 watt, è necessario un segnale audio di 500 watt per una modulazione al 100%. Pertanto, la portante modulata non supererà la potenza totale di 1.500 watt. I 500 watt di potenza acustica si dividono in parti eguali tra le bande laterali; nessuna parte della potenza audio si unisce alla portante. A causa di ciò, la portante di per sè non contiene segnali acustici; dal punto di vista dell'utilità della comunicazione, si può perciò dire che i 1.000 watt corrispondenti alla potenza della portante sono praticamente sciupati. Possiamo anche osservare che per trasmettere i segnali audio, o segnali di « intelligenza », è sufficiente una sola banda laterale. E' pertanto possibile eliminare la portante ed una delle bande laterali, ma la complessità dell'apparecchiatura necessaria annulla, in linea di massima, il vantaggio del guadagno di efficienza.

Inconvenienti della modulazione di ampiezza

I rumori parassiti e le interferenze elettriche possono anch'essi modulare in ampiezza la portante, fino al punto da rendere nulla l'intelligibilità della trasmissione. Questo, tuttavia, non è il solo inconveniente: un segnale ad MA è anche suscettibile di interferenze con altre frequenze prossime, per cui, affinchè la trasmissione sia percepibile, è necessario che la potenza del trasmettitore interessato sia molto maggiore di quella del trasmettitore interferente. Per questi motivi è desiderabile, a volte, un diverso sistema di modulazione.

MODULAZIONE di FASE

Per effettuare la trasmissione di frequenze audio o di « intelligenza », oltre all'ampiezza, è possibile variare la frequenza o la fase della portante. Il procedimento della variazione di frequenza a seconda della frequenza audio, si chiama modulazione di frequenza, o FM (o, a volte, M.d.F.), e quello della variazione di fase si chiama modulazione di fase. Quando si ha la modulazione di frequenza, si agisce indirettamente anche sulla fase della portante; analogamente, nel caso della modulazione di fase, si agisce indirettamente sulla frequenza. Per comprendere il funzionamento di questi due sistemi è necessaria una certa familiarità

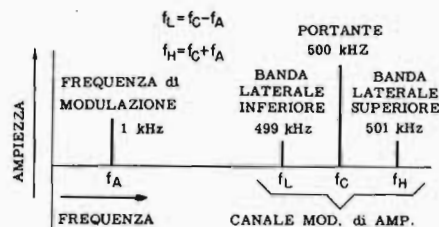



Fig. 6 — In seguito alla modulazione si creano le « bande laterali » ai lati della portante, come è qui illustrato per segnale modulante di 1000 Hz.

Fig. 8 — Con rappresentazione vettoriale a ogni ciclo corrisponde una rivoluzione completa.

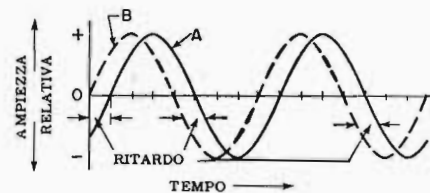



Fig. 7 — Con due curve (A e B) di eguale frequenza si può illustrare il ritardo di A rispetto a B o viceversa, cioè la fase.

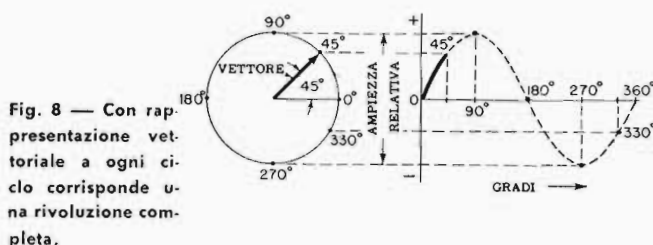
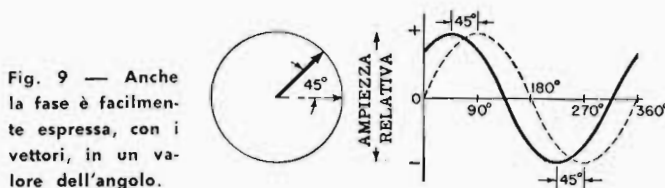
Fig. 9 — Anche la fase è facilmente espressa, con i vettori, in un valore dell'angolo.

con entrambi: è per questo che, pur non riscontrandosi in pratica, correnti applicazioni del sistema di modulazione di fase, lo descriveremo con un certo dettaglio. Inoltre, ciò è giustificato ulteriormente dal fatto che sulla sua tecnica non torneremo più. Per contro, avremo modo di dedicare intere lezioni al sistema a modulazione di frequenza, data la sua attuale, vasta applicazione nelle emissioni radiofoniche.

Parlando delle carateristiche della portante, abbiamo definito la sua frequenza come il numero di cicli che si verificano ogni secondo. La **figura 7** rappresenta, mediante la curva *A*, l'andamento di due cicli completi. Il punto di partenza per la misura del tempo è stato scelto arbitrariamente, e, al tempo 0, la curva *A* ha un certo valore negativo. Se si traccia una seconda curva (*B*) avente la medesima frequenza e tale che l'ampiezza sia 0 al tempo 0, essa può essere usata come riferimento nei confronti della curva *A*.

La curva *B* parte da 0 in direzione positiva; la curva *A* parte, come si è detto, da un valore negativo e procede anch'essa in direzione positiva raggiungendo l'ampiezza 0, solo una frazione di secondo dopo l'istante in cui il valore di *B* è passato per 0. Tale frazione di ciclo rappresenta l'ammontare del *ritardo* di *A* rispetto a *B*. Dal momento che le due curve hanno la medesima frequenza, il ritardo di *A* verso *B* sarà sempre costante. Se la posizione delle curve viene invertita, si dice allora che *A* è in anticipo rispetto a *B*. L'intervallo di ritardo o di anticipo di *A*, come il lettore avrà già capito, costituisce la sua fase; dal momento che il riferimento dato è arbitrario, la fase è relativa.

Rappresentazione vettoriale

Le variazioni cicliche della portante sono state rappresentate, nelle figure sin qui viste, disegnando una curva dell'ampiezza in funzione del tempo; tuttavia esse possono essere rappresentate anche come la proiezione di un punto rotante in un circolo in senso antiorario. Ciò costituisce la rappresentazione vettoriale (vedi lezione 24ª) che è ottenuta tracciando la ampiezza in funzione del numero dei gradi di rotazione del punto invece che in funzione del tempo. Per ogni ciclo della portante, il punto compie una rotazione completa di 360°; ciò rappresenta il periodo dell'onda, ossia il tempo necessario ad un ciclo.

La **figura 8** rappresenta un ciclo della portante espresso come proiezione di un punto che si muove lungo una circonferenza. Partendo da 0, il punto ruota di 360° tornando successivamente a 0, dove ha inizio il ciclo successivo. Allorchè tale punto viene proiettato lungo la serie di assi a destra, una rivoluzione completa del punto traccia un ciclo completo dell'onda. La frequenza dell'onda in cicli al secondo (Hertz), è numericamente eguale al numero di rivoluzioni compiute dal punto nella medesima unità di tempo. La fase relativa dell'onda mostrata è 0, in quanto a 0 l'ampiezza è a 0°.

L'ampiezza di picco dell'onda è eguale al raggio del circolo, e l'ampiezza tra picco e picco corrisponde al diametro.

Abbiamo molto opportunamente rivisto sin qui concetti noti: questo ripasso ci è di grande utilità per bene afferrare la spiegazione del procedimento della modulazione di fase. Proseguimo perciò il nostro esame.

La posizione del punto in ogni istante può essere indicata da una freccia che, partendo dal centro, raggiunge il punto stesso. Tale freccia è il noto « vettore » e, nel nostro diagramma, esso è rappresentato in posizione di 45°. E' necessario ricordare che il vettore non è fermo, bensì ruota con una frequenza eguale a quella dell'onda che esso rappresenta; esso costituisce un comodo sistema per indicare le relazioni di fase tra un'onda ed un'altra onda, oppure tra un'onda ed un riferimento scelto arbitrariamente. Supponiamo che un'onda venga osservata iniziando dall'istante in cui il suo vettore si trova nella posizione corrispondente a 45° (**figura 9**). Per determinare la fase relativa, si può usare come riferimento un secondo vettore avente l'ampiezza 0 nell'istante 0, e rotante nella medesima direzione in senso antiorario. Nella proiezione grafica visibile alla destra della figura, le due onde hanno la medesima frequenza; tuttavia, l'onda da noi osservata si dice che ha un anticipo di fase relativo di 45°. Se analizziamo la figura notiamo che i 45° costituiscono l'angolo centrale presente tra i due vettori, misurato in senso antiorario partendo dal vettore di riferimento. L'onda sinusoidale in tratto continuo, passa da 0 in direzione positiva, 45° prima dell'onda di riferimento tratteggiata riportata a destra. Se si considera in tal modo una particolare onda portante, si nota che essa in ogni istante ha una re-

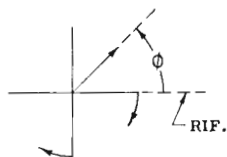



Fig. 10 A — Vettore relativo alla portante non modulata. Angolo di fase costante.

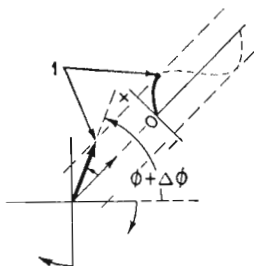



Fig. 10 B — Effetto del segnale modulante al suo massimo valore positivo, sull'angolo di fase.

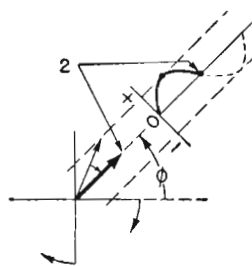



Fig. 10 C — Il segnale modulante è tornato a zero: l'angolo di fase è come all'inizio (figura 10 A).

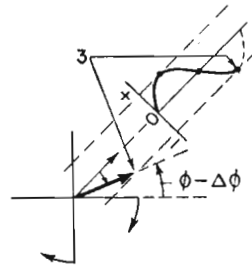



Fig. 10 D — Effetto del segnale modulante al suo massimo valore negativo, sull'angolo di fase.

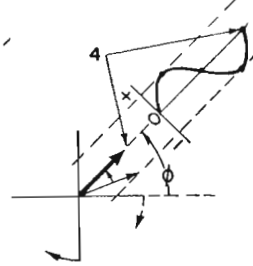



Fig. 10 E — Il segnale modulante torna ancora a zero e l'angolo di fase è pari alla posizione di partenza.

lazione di fase relativa rispetto ad una portante di riferimento di eguale frequenza.

L'angolo di fase può essere misurato sia in gradi che in radianti; dal momento che 360° equivalgono a 2π radianti, l'angolo di fase di 45° osservato precedentemente, può essere espresso come $\pi/4$ radianti, o, più semplicemente $\pi/4$.

Modulazione

Nella modulazione di fase si fa variare la fase relativa della portante conformemente alla frequenza audio da trasmettere. L'angolo di fase della portante quindi, non è più fisso. L'ampiezza e la frequenza media della portante vengono mantenute ad un valore costante, mentre il segnale modulante é sulla fase che esercita la sua funzione in ogni istante, mediante la variazione dell'angolo di fase, come illustrato alla **figura 10**.

Invece di far ruotare il vettore alla frequenza della portante, possono essere ruotati gli assi del grafico, in direzione opposta, con la medesima velocità. In tal modo il vettore (e l'onda di riferimento) possono essere esaminati mentre sono simbolicamente fermi. Nella figura 10-**A** è illustrato il vettore relativo alla portante non modulata; le piccole frecce curve indicano la direzione di rotazione degli assi della frequenza portante. L'angolo di fase, φ, è costante rispetto alla frequenza di riferimento scelta arbitrariamente. Le sezioni **B, C, D,** ed **E,** della figura, illustrano gli effetti del segnale modulante sull'angolo di fase relativo, in 4 punti differenti.

La conseguenza di un'oscillazione in senso positivo del segnale modulante, consiste nella accelerazione della velocità di rotazione del vettore che viene spinto in senso antiorario ed aumenta l'angolo di fase, φ. Nel punto 1, il segnale modulante raggiunge il suo valore massimo, e l'angolo di fase viene di conseguenza variato di un ammontare pari a $\Delta\varphi$. Le condizioni istantanee di fase del punto 1 sono quindi $\varphi + \Delta\varphi$.

Dopo aver raggiunto il suo massimo valore in senso positivo, il segnale modulante prosegue in direzione opposta. La velocità del vettore diminuisce, ed esso risulta muoversi in direzione opposta, verso la sua posizione originale. Quando il segnale modulante raggiunge il valore 0 (posizione 2 in C), il vettore è ritornato nella sua posizione originale. L'angolo di fase è nuovamente φ rispetto al riferimento.

Il segnale modulante continua in senso negativo ed il vettore viene portato oltre la sua posizione originale, in senso orario. Allorchè esso raggiunge il suo massimo valore negativo (posizione 3 in D), l'angolo di fase del vettore diventa $-\Delta\varphi$, per cui l'angolo di fase instantaneo si riduce a $\varphi - \Delta\varphi$.

In ultimo, il vettore ritorna al suo angolo di fase originale non appena l'ampieza del segnale modulante diventa 0, (posizione 4 in E). A questo punto l'angolo di fase è nuovamente φ, ed il ciclo è completo. L'intero ciclo di spostamento di fase si ripete per ogni ciclo del segnale modulante, il che vale a dire che la frequenza di quest'ultimo viene riprodotta sotto forma di successivi cicli di spostamento di fase.

Per ogni ciclo del segnale modulante, la fase relativa della portante viene variata tra i valori $\varphi + \Delta\varphi$ e $\varphi - \Delta\varphi$. Questi due valori di fase istantanea — che si verificano in corrispondenza dei valori massimi positivi e negativi della modulazione — sono noti col nome di limiti di spostamento di fase. Il limite superiore è $+\Delta\varphi$, ed il limite inferiore è $-\Delta\varphi$. Le relazione tra detti limiti ed il vettore della portante sono illustrate dalla **figura 11** nella quale sono indicati i limiti di $\pm\Delta\varphi$.

Se si rappresenta il vettore della modulazione di fase in funzione del tempo, si ottiene un'onda come quella illustrata alla **figura 12.** In essa, in **A,** si ha il segnale modulante: nella sezione **B** l'onda tratteggiata è la curva del vettore di riferimento, mentre l'onda a tratto intero è la portante. Non appena il segnale modulante procede in senso positivo, l'angolo di fase negativo aumenta da un anticipo originale di 45° ad un valore massimo come illustrato nella posizione 1 della sezione B. Allorchè invece esso procede in senso negativo, l'anticipo di fase della portante rispetto al vettore di riferimento diminuisce ad un valore minimo, come illustrato nel punto 2, dopo di che ritorna al valore originale di 45° non appena l'ampiezza del segnale modulante torna a zero.

Ciò rappresenta l'onda risultante da una modulazione di fase sinusoidale, nella quale l'ampiezza del segnale modulante controlla le relazioni relative di fase della portante.

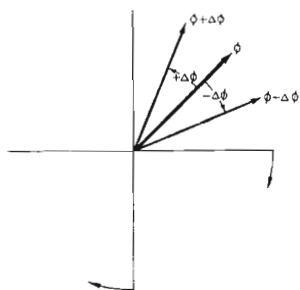



Fig. 11 — Gli effetti visti nei diversi punti della figura 10 sono qui riassunti nei due limiti di fase, corrispondenti ai valori massimi (positivi e negativi) della modulazione.

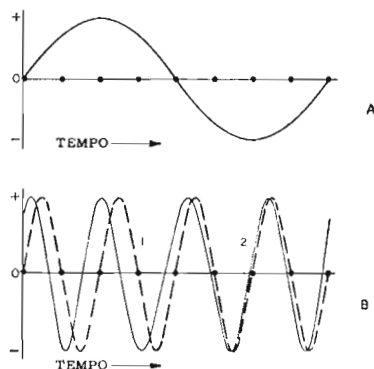



Fig. 12 — **Rispetto al tempo, in A segnale modulante; in B onda (tratteggiata) del vettore e (tratto intero) portante.**

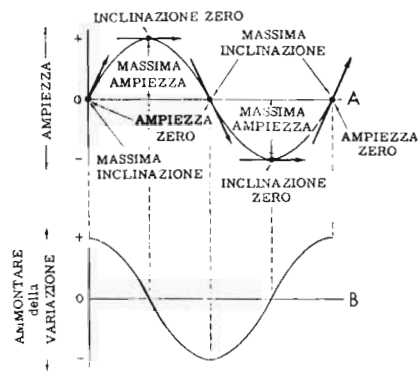



Fig. 13 — **Con la modulazione di fase si verifica una modulazione di frequenza: essa è rapportata in B rispetto ad A.**

Modulazione di fase e frequenza della portante

Nella rappresentazione vettoriale della portante con modulazione di fase, il vettore della portante viene *accelerato* o *ritardato* a seconda che l'angolo di fase relativo aumenti o diminuisca in conseguenza del segnale modulante. Dal momento che la velocità del vettore equivale alla frequenza della portante, quest'ultima **deve variare** durante la modulazione di fase. Si verifica perciò una specie di modulazione di frequenza, nota come *modulazione di frequenza equivalente*.

Sia la modulazione di fase che la modulazione di frequenza equivalente dipendono dal segnale modulante; a ciascuna condizione istantanea di fase è associata una frequenza equivalente istantanea.

La fase è determinata in ciascun istante dall'ampiezza del segnale modulante. La frequenza istantanea equivalente è invece determinata dal **rapporto di variazione di ampiezza** di detto segnale. Questo rapporto di variazione di ampiezza del segnale modulante dipende da due fattori: l'ampiezza, e la frequenza di modulazione. Infatti, se *l'ampiezza* di modulazione aumenta, aumenta contemporaneamente lo spostamento della fase. Il vettore della portante deve muoversi attraverso un angolo più grande nel medesimo periodo di tempo, aumentando cioè la sua velocità, e, di conseguenza, aumentando lo spostamento di frequenza della portante. Se aumenta *la frequenza* di modulazione, la portante deve variare entro i limiti dello spostamento di fase con un ritmo maggiore, aumentando cioè la sua velocità, e, di conseguenza, aumentando lo spostamento di frequenza.

Quando invece o l'ampiezza o la frequenza del segnale di modulazione diminuiscono, diminuisce in conformità anche lo spostamento di frequenza della portante.

Più rapide sono le variazioni di ampiezza, maggiore è lo spostamento in frequenza risultante: più lente sono le variazioni di ampiezza, minori sono gli spostamenti di frequenza.

Il rapporto di variazione in ogni istante può essere determinato dalla inclinazione dell'onda modulante. Osservando la **figura 13-A,** si nota che i massimi rapporti di variazione non si verificano in corrispondenza dei punti di massima ampiezza; infatti, quando l'ampiezza è 0, il rapporto di variazione è massimo, e viceversa. Quando l'onda passa attraverso il valore 0 in senso positivo, il rapporto di variazione raggiunge il suo massimo valore positivo, mentre, quando passa attraverso 0 in senso negativo, il rapporto raggiunge il massimo valore negativo.

La curva **B** è la rappresentazione del rapporto di variazione della curva A. Quest'onda è in anticipo di 90° rispetto alla deviazione di fase.

La relazione che intercorre tra la deviazione di fase e lo spostamento di frequenza è illustrata nel diagramma vettoriale della **figura 14**. Negli istanti in cui la deviazione di fase è massima, lo spostamento di frequenza è 0; negli istanti in cui la deviazione di fase è 0, lo spostamento di frequenza è massimo. I limiti di deviazione della frequenza equivalente di una portante modulata di fase possono essere calcolati mediante la formula seguente:

$$\Delta F = \Delta\varphi f \cos(2\pi f t)$$

nella quale ΔF è la deviazione di frequenza, $\Delta\varphi$ la massima deviazione di fase, f la frequenza del segnale modulante, e cos $(2\pi f t)$ è la deviazione di ampiezza del segnale modulante in qualsiasi frazione di tempo t.

Quando $(2\pi f t)$ è 0 o 180°, l'ampiezza del segnale è 0 ed il coseno ha il suo massimo valore pari a +1 a 360°, ed a —1 a 180°. Se il limite dello spostamento di fase è 30°, ossia $\pi/6$ radianti, per una frequenza modulante di 1.000 Hz, si ha:

$$F = \frac{\pi}{6} \times 1.000 \times (+1) = +523 \text{ Hz circa.}$$

Quando il segnale modulante passa attraverso il valore 0, in direzione positiva, la frequenza portante viene aumentata di 523 Hz. Quando il segnale modulante passa attraverso il valore 0 in direzione negativa, la la frequenza portante viene diminuita di 523 Hz.

MODULAZIONE di FREQUENZA

Allorchè una portante è modulata in frequenza da un segnale, la sua ampiezza viene mantenuta costante mentre la sua frequenza varia direttamente col variare dell'ampiezza del segnale modulante. Si hanno dei limiti di spostamento di frequenza analoghi a quelli relativi allo spostamento di fase nel sistema di modulazione di fase. Vi è pure uno *spostamento di fase equiva-*

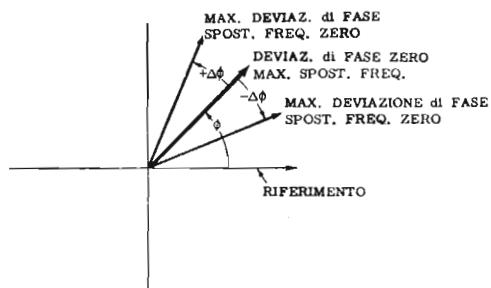



Fig. 14 — Relazione tra deviazione di fase e spostamento di frequenza. Si nota che quest'ultimo è massimo allorchè la deviazione di fase è zero. Alle massime deviazioni di fase è zero lo spostamento di frequenza.

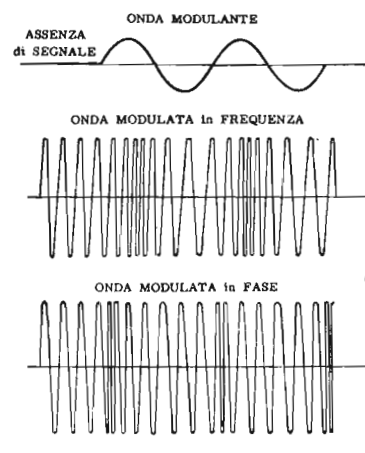



Fig. 15 — Nell'onda modulata in frequenza, ad ampiezza zero del segnale modulante non si hanno variazioni: l'aumento positivo aumenta la frequenza e il negativo la diminuisce. Sotto: confronto con onda modulata di fase.

lente della portante, analogo allo spostamento di frequenza equivalente che abbiamo osservato nella modulazione di fase.

La **figura 15-A** illustra un'onda modulata in frequenza risultante dalla sovrapposizione di due cicli del segnale modulante su una portante. E' facile notare che, quando l'ampiezza del segnale modulante è 0, la frequenza portante non subisce variazioni. Quando il segnale modulante aumenta in ampiezza in senso positivo, la frequenza della portante aumenta fino a raggiungere il suo valore più alto in corrispondenza dell'ampiezza massima del segnale di B.F. Quando quest'ultimo aumenta in senso negativo, accade il contrario: la frequenza della portante diminuisce fino a raggiungere il suo valore minimo in corrispondenza del picco negativo.

Possiamo vedere un confronto tra l'onda modulata in frequenza (figura 15-A) e l'onda modulata in fase, (figura 15-**B**) in corrispondenza degli stessi due cicli del segnale modulante.

Se l'onda modulata in fase viene spostata di 90°, le due onde appaiono eguali. Agli effetti pratici la differenza è minima, ed un ricevitore per FM infatti può ricevere entrambi i tipi di portante.

DEMODULAZIONE di ONDE a MODULAZIONE di AMPIEZZA

La demodulazione, o rivelazione, è il processo mediante il quale si separano i segnali a frequenza audio dalla portante modulata. Nel caso della modulazione di ampiezza, sappiamo che detti segnali vengono sovrapposti alla portante stessa sotto forma di variazioni di ampiezza di quest'ultima. Il demodulatore di un'onda MA produce correnti o tensioni che variano con l'ampiezza dell'onda. Analogamente, il rivelatore per onde a modulazione di frequenza o per onde modulate di fase, converte le variazioni di frequenza o di fase di una portante modulata, in correnti o tensioni che variano in ampiezza con le variazioni di frequenza o di fase dell'onda.

L'ampiezza istantanea, e_0, della portante può essere così espressa:

$$e_0 = E_0 \operatorname{sen} (2\pi f_0 t + \varphi)$$

dove E_0 è l'ampiezza massima della portante modulata, f_0 è la frequenza della portante, e φ è l'angolo di fase (per segnali MA, φ può essere considerato pari a zero). Una o più delle variabili indipendenti (quelle cioè contenute nel secondo membro dell'equazione) può variare conformemente al segnale modulante per produrre una variazione in e_0. Tuttavia nella pratica normale, si fa variare soltanto uno di tali valori, e precisamente E_0 (per la modulazione di ampiezza, f_0 (per la modulazione di frequenza) oppure φ (per la modulazione di fase), evitando per quanto possibile qualsiasi variazione degli altri fattori.

Per questo motivo lo stadio rivelatore dell'apparecchio ricevente deve essere progettato in modo che risulti sensibile soltanto per il tipo di modulazione usato dal trasmettitore, e deve essere, per contro, insensibile nei confronti degli altri tipi di modulazione.

I dispositivi di modulazione e di demodulazione per il sistema della modulazione di ampiezza non sono lineari, ossia i loro rapporti tra corrente e tensione non possono essere rappresentati graficamente da una linea retta. Dato che il rapporto tra corrente e tensione non è costante, il dispositivo presenta anche una impedenza non lineare. Allorchè un'onda MA viene applicata ai capi di una impedenza non lineare — come ad esempio, ad uno degli stadi rivelatori a valvola che vedremo in seguito — la corrente media di uscita è la differenza tra ogni successivo periodo positivo e negativo delle corrente del segnale d'uscita come è illustrato alla **figura 16**.

L'uscita media (ossia la componente del segnale) segue il contorno dell'onda modulata in arrivo con una esattezza che dipende dalla forma della curva non lineare. Dal momento che il contorno dell'onda MA contiene la frequenza audio, un dispositivo non lineare **demodula** l'onda modulata in ampiezza.

Per meglio comprendere le differenze presenti fra le frequenze d'uscita dei vari tipi di rivelatori, è necessario considerare le frequenze che entrano in gioco sia nella modulazione, sia nella demodulazione.

CONFRONTO tra la MODULAZIONE e la DEMODULAZIONE di AMPIEZZA

Se in un trasmettitore una portante a radiofrequenza ed un segnale modulante sinusoidale a frequenza unica venissero applicati ad un dispositivo

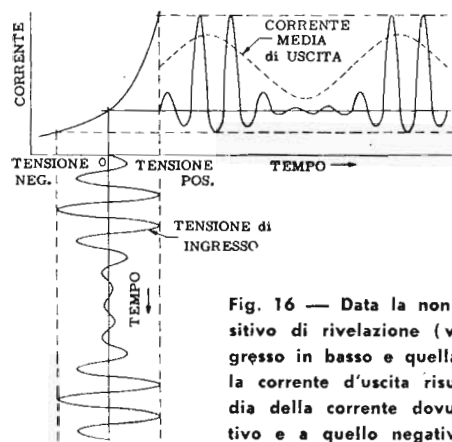



Fig. 16 — Data la non linearità del dispositivo di rivelazione (vedi tensione di ingresso in basso e quella d'uscita, a destra) la corrente d'uscita risulta essere una media della corrente dovuta al periodo positivo e a quello negativo.

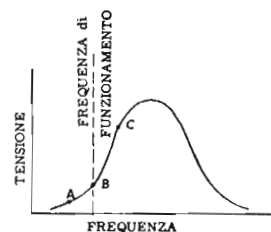



Fig. 17 — Le variazioni di frequenza dovute alla modulazione possono essere rivelate, ossia tradotte in variazioni di ampiezza, se la frequenza portante viene fatta coincidere (B) sulla falda della curva di sintonizzazione di un circuito oscillante.

lineare, la forma d'onda che ne risulterebbe conterrebbe entrambe le frequenze. Gli amplificatori a circuiti sintonizzati del trasmettitore amplificherebbero la portante a radiofrequenza, ma eliminerebbero, agli effetti pratici, la componente ad audiofrequenza. In tali circostanze, verrebbe irradiata la sola portante, per cui verrebbe meno il suo scopo di far da tramite ai segnali di « intelligenza ».

Se le medesime frequenze di cui sopra vengono applicate ad un dispositivo **non lineare** si ottiene un risultato molto differente. In questo caso, si introduce una certa distorsione e, come conseguenza si creano delle frequenze addizionali. In aggiunta alle frequenze originali vengono prodotte delle frequenze che corrispondono alla somma ed alla differenza delle stesse, oltre ad una frequenza « zero », ossia una componente a corrente continua. In tali condizioni i circuiti sintonizzati del trasmèttitore rispondono alla portante e alle bande laterali superiori e inferiori; come prima, però il segnale modulante ad audiofrequenza viene discriminato. Tuttavia, questa componente a frequenza audio viene sostituita, o meglio, generata nuovamente dallo stadio rivelatore dell'apparecchio ricevente.

Nel ricevitore, la portante e le sue bande laterali vengono applicate ad un secondo **dispositivo non lineare** detto **demodulatore** o rivelatore. Se il demodulatore ha una curva non lineare ideale, distorce la forma d'onda in arrivo (le semionde positive del ciclo risulteranno differenti da quelle negative). Pertanto, oltre alla portante a radiofrequenza ed alle relative due bande laterali, si avrà la frequenza del segnale (che corrisponde alla differenza tra la banda laterale superiore e la portante, e tra la portante e la banda laterale inferiore), ed una frequenza zero (ossia una componente a corrente continua). Quest'ultima viene spesso utilizzata per una azione di controllo automatico dall'amplificazione, che esamineremo in seguito.

Se il tipo di demodulatore usato nel ricevitore non ha una curva non lineare ideale, bensì una curva seguente, ad esempio, una legge quadratica, si producono delle frequenze addizionali. Queste frequenze sono armoniche di tutte le frequenze presenti all'ingresso. Esse si producono in quanto le tensioni d'ingresso che hanno un'ampiezza maggiore vengono distorte in maniera diversa da quelle aventi un'ampiezza minore; le armoniche ad AF possono essere filtrate all'uscita del demodulatore ma le armoniche a frequenza acustica non possono essere eliminate altrettanto facilmente.

DEMODULAZIONE della MODULAZIONE di FREQUENZA

La maggiore differenza esistente tra un ricevitore per MA ed un ricevitore per FM consiste nella diversità del sistema di rivelazione. Per ricavare i segnali audio da un'onda portante ad FM, è necessario impiegare un dispositivo che converta le variazioni di frequenza in variazioni di tensione di B.F. Tali tensioni corrispondono a quelle prodotte dal microfono presso il trasmettitore. Qualsiasi dispositivo nel quale l'ampiezza varia in maniera pressochè lineare rispetto alla variazione di frequenza può servire allo scopo.

Un metodo semplice per convertire le variazioni di frequenza in variazioni di ampiezza consiste nel disintonizzare un circuito oscillante normale in modo che la portante del segnale a modulazione di frequenza si trovi su una falda della curva di risonanza, (punto B) **figura 17**. Come abbiamo visto, l'ammontare delle variazioni di frequenza intorno al valore della portante varia con l'ampiezza del segnale modulante. Se la portante ad FM si trova lungo la falda della curva, le sue variazioni di frequenza vengono convertite in variazioni equivalenti di ampiezza dato il responso non uniforme per le frequenze sopra e sotto quella centrale (A e C in figura 17). Così l'uscita dell'amplificatore a radiofrequenza varia in ampiezza conformemente ai segnali audio; il segnale risultante può essere accoppiato ad un rivelatore del tipo MA onde ripristinare la tensione audio. E' da notare che la frequenza della portante deve cadere su di un lato della curva di responso per la rivelazione dei segnali FM, e non al centro, in quanto, in centro, il responso del ricevitore più o meno uniforme e simmetrico.

Per evitare che il segnale introdotto venga distorto, le variazioni di frequenza devono essere limitate a quella parte di curva che è rettilinea; poichè tale parte è molto breve, la tensione sviluppata è molto bassa. Per questo motivo tale sistema non è praticamente usato ma è tuttavia utile per illustrare il principio della rivelazione FM, che vedremo molto più in dettaglio.

MICROFONI e ALTOPARLANTI

Abbiamo considerato fino ad ora — nel nostro studio — i vari tipi di corrente sui quali si basa il funzionamento delle apparecchiature elettroniche; nella maggior parte dei casi, il segnale di entrata e di uscita di un ricevitore, di un amplificatore o di uno strumento, è stato definito come la tensione proveniente da un generatore esterno. Analogamente, si è spesso parlato di un carico applicato all'uscita di uno stadio finale, carico il cui compito consiste nell'utilizzare la energia messa a disposizione dallo stadio stesso. Infine, nelle nostre più recenti lezioni, abbiamo chiarito i concetti di « modulazione » e « demodulazione », relativi ai rapporti che intercorrono tra le correnti foniche e quelle ad Alta Frequenza nelle radiocomunicazioni.

E' dunque tempo di occuparci, ora, dettagliatamente delle sorgenti dirette di tali segnali: inizieremo dai segnali acustici, nonchè dai dispositivi atti alla loro riproduzione, e vedremo, in un secondo tempo, i segnali a radiofrequenza nella loro formazione riferita anche essa ai mezzi per generarli.

I MICROFONI

La parola *microfono* deriva — come molte altre del nostro ramo — dal greco, in quanto *micro* significa « estremamente piccolo », e *phono* (pronuncia « fono ») significa « suono », è facile dedurre che l'organo così definito non è altro che un dispositivo sensibile alle onde sonore, le cui caratteristiche sono tali da convertire le stesse in impulsi elettrici, sia pure assai deboli. Sappiamo però, che qualsiasi impulso elettrico, per per quanto debole, è suscettibile di rilevante amplificazione a mezzo valvole elettroniche o transistori.

Anche i microfoni, come tutti i componenti elettronici, hanno subito una notevole e logica evoluzione: il primo tipo progettato e realizzato ha dato origine a studi ed esperienze che hanno consentito successivi perfezionamenti attraverso il tempo. Nella nostra analisi dei vari tipi (analogamente faremo per gli altoparlanti) seguiremo appunto questa evoluzione, per consentire al lettore la comprensione dei vari sviluppi.

Scopo iniziale della realizzazione del microfono, all'epoca cioè della sua origine, è stata la trasformazione della voce umana in corrente elettrica. Questo era, allora, l'unico requisito che veniva richiesto al dispositivo, e non si pensava molto, a quel tempo, ad altre esigenze. In seguito, con lo sviluppo della tecnica di amplificazione e di riproduzione dei suoni, la necessità di pervenire a più fedeli riproduzioni comprendenti esecuzioni musicali oltre che trasmissioni di parola, ha portato alla realizzazione di microfoni estremamente fedeli: in molti casi si sono avuti miglioramenti del fattore sensibilità.

Attualmente esistono tre categorie principali di microfoni: quelli adatti alla sola riproduzione della voce parlata (ad esempio quelli usati nei telefoni), la cui gamma di frequenze si estende all'incirca da 150 a 4.000 Hz, quelli adatti alla riproduzione di buona parte della gamma delle frequenze udibili, (usati negli impianti di amplificazione), che possono funzionare entro una gamma compresa tra 50 e 7.500 Hz, ed infine quelli cosiddetti professionali (usati nelle riprese radiofoniche), mediante i quali è possibile riprodurre uniformemente l'intera gamma delle frequenze udibili che come è noto, va da circa 20 a oltre 16.000 Hz.

A ciò occorre aggiungere che l'indice di qualità di un microfono deve tener conto anche della sua attitudine al suo specifico impiego. Se si tratta di un microfono adatto alla sola riproduzione della voce umana, una caratteristica della qualità è la comprensibilità che si riesce ad ottenere in fase di riproduzione, dai suoi segnali elettrici. Se invece si tratta di un microfono per la riproduzione di musica e suoni, l'indice della qualità è la fedeltà dei suoni rispetto a quelli originali.

Il microfono a carbone

Il primo dispositivo che ha consentito la trasformazione di onde sonore in impulsi elettrici è stato il microfono a carbone. Se un certo numero di piccoli corpi conduttori, ad esempio granuli di carbone, offre una determinata resistenza al passaggio della corrente elettrica per un determinato contatto reciproco, rendendo instabile, con vibrazioni meccaniche, tale contatto, si otterrà una variazione della resistenza elettrica.

Il principio è illustrato alla **figura 1**. Si nota una custodia (anch'essa di carbone) nella quale sono riposti granuli i quali, oltre che con il loro contenitore, si trovano in contatto con una mebrana, pure di carbone.

Il circuito elettrico fa capo alla membrana da un lato ed al contenitore dall'altro. In serie al circuito si trova la batteria. In condizioni di riposo — ossia assenza di vibrazioni da parte della membrana — la corrente elettrica incontra, attraverso il microfono, una determinata resistenza ohmica dovuta alla conduttività del carbone, al contatto reciproco tra i granuli, ed al con-

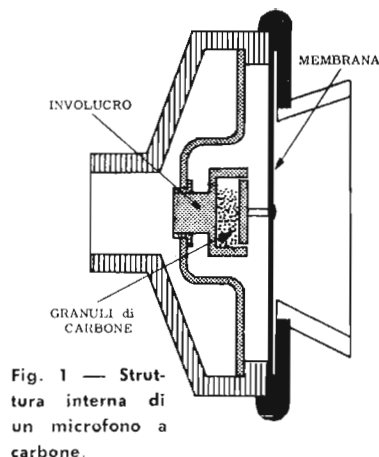



Fig. 1 — Struttura interna di un microfono a carbone.

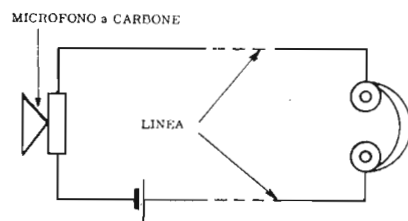



Fig. 2 — Grazie all'ampiezza dei segnali forniti dal microfono a carbone, esso può funzionare con accoppiamento diretto ad una cuffia, senza alcuna amplificazione.

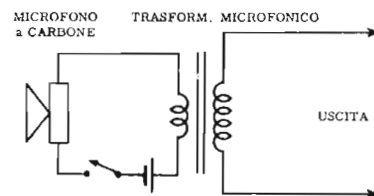



Fig. 3 — Per adattare la bassa impedenza di un microfono a carbone a quella di griglia di una valvola, occorre una trasformatore microfonico. L'interruttore in serie alla batteria interrompe la corrente allorchè il microfono non viene usato.

tatto tra questi e la membrana.

Sappiamo che le onde sonore tendono a far vibrare i corpi solidi: notiamo infatti — ad esempio — quotidianamente, le vibrazioni ai vetri della finestra allorchè all'esterno viene riprodotto un suono di notevole intensità. Il concetto sarà ancora più chiaro se ricorriamo, come esempio, al nostro stesso organo dell'udito, il cui timpano (membrana) vibra per effetto dei suoni che percepiamo.

In virtù del medesimo fenomeno la membrana di carbone (peraltro assai leggera), vibra in presenza di suoni, e trasmette le sue vibrazioni ai granuli di carbone, creando una notevole instabilità di contatto. Tale instabilità si traduce in una variazione corrispondente della resistenza, la quale — a sua volta — provoca variazioni conformi nell'intensità della corrente circolante fornita dalla batteria. Si può dire, in ultima analisi, che le onde sonore vengono trasformate in una corrente elettrica variabile.

Le caratteristiche costruttive di questo tipo di microfono sono tali da assicurare una discreta robustezza, da cui deriva una certa insensibilità all'umidità, alle variazioni di temperatura ed alle esalazioni chimiche. Per contro le caratteristiche funzionali denotano una notevole limitazione della gamma di frequenze alle quali esso è sensibile, compensata però da una notevole sensibilità. In pratica, è possibile riprodurre direttamente i suoni percepiti da un microfono di questo tipo, senza alcuna amplificazione. Questo è appunto il caso del telefono, limitatamente però ai circuiti relativamente brevi. In tal caso — infatti — è sufficiente chiudere il circuito di figura 1 con l'avvolgimento di una cuffia (**figura 2**), per ottenere da questa, in base al suo noto principio di funzionamento, la riproduzione dei suoni prodotti in prossimità del microfono.

Nel caso invece di comunicazioni telefoniche oltre una certa distanza, l'attenuazione che si verifica lungo i cavi porta alla necessità di amplificare i segnali per elevarli ad un livello sufficiente per un comodo ascolto.

Il microfono a carbone è stato perfezionato con la realizzazione della cosiddetta « doppia capsula ». Essa consiste praticamente in due microfoni abbinati e rivolti in due direzioni opposte.

Il microfono a carbone è caratterizzato da una certa direzionalità, in quanto, ferma restando l'intensità del suono e la distanza tra la sorgente sonora ed il microfono, gli impulsi elettrici prodotti sono tanto più intensi quanto più la direzione del suono è perpendicolare alla membrana: in altre parole, la massima sensibilità si verifica allorchè la membrana è rivolta direttamente verso la sorgente sonora.

L'impedenza interna del microfono a carbone ha un valore basso (qualche decina di ohm): di conseguenza, dovendosi amplificare i segnali di uscita mediante una valvola, è necessario un trasformatore, detto « microfonico » per adeguarsi alla elevata impedenza di griglia della valvola stessa. Come si nota osservando la **figura 3**, il trasformatore microfonico ha un primario a bassa impedenza che costituisce il carico nel circuito del microfono. Il secondario, ad alta impedenza, fornisce gli impulsi con una tensione maggiore (a seconda del rapporto di trasformazione, che è dell'ordine di 1 : 30) ai capi di una impedenza sufficiente per consentire l'applicazione tra griglia e massa di una valvola.

Con lo sviluppo — ripetiamo — dell'elettronica, e con l'aumento delle esigenze dal punto di vista qualitativo, si è giunti gradatamente alla realizzazione di microfoni aventi caratteristiche più soddisfacenti. Il microfono a carbone ha attualmente un impiego limitato agli impianti telefonici, ed a certi tipi di trasmettitori radio il cui funzionamento avviene esclusivamente per l'emissione del parlato, come per esempio nelle apparecchiature militari, in quelle dilettantistiche ed in quelle di alcuni servizi civili.

Il microfono elettrostatico

Abbiamo visto — nello studio della capacità e dei fenomeni relativi — che, se si applica alle armature di un condensatore una tensione continua di ampiezza stabile, si ha nel circuito un unico impulso di corrente conseguente alla carica del condensatore stesso; terminata detta carica, la corrente cessa di scorrere. Sappiamo inoltre che, se la tensione applicata varia con un certo ritmo, o di ampiezza o addirittura di polarità, si ha nel circuito il passaggio di una corrente alternata, di cui l'intensità e l'ampiezza dipendono dall'intensità e dell'ampiezza della componente alternata applicata, nonchè della reattanza del condensatore.

Un altro fenomeno della capacità è che, fermo restando il valore della tensione continua applicata alle armature, si ha anche un passaggio di corrente alterna-

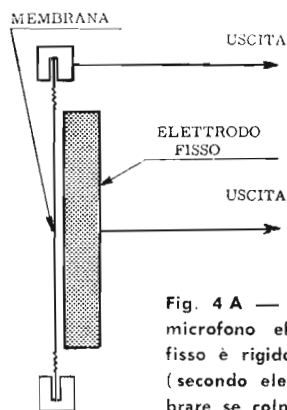



Fig. 4 A — Struttura interna di un microfono elettrostatico. L'elettrodo fisso è rigido, mentre la membrana (secondo elettrodo), è libera di vibrare se colpita da onde sonore.

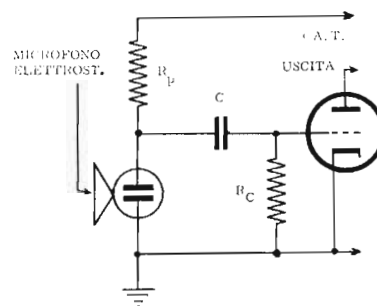



Fig. 4 B — Circuito tipico di collegamento di un microfono a condensatore al primo stadio di amplificazione. La tensione viene fornita dallo stesso alimentatore.

ta se il valore della capacità varia periodicamente; la corrente alternata che circola in tali condizioni, ha una intensità direttamente proporzionale alla variazione di capacità.

Uno dei sistemi più semplici per variare una capacità, consiste nel variare la distanza tra le armature, e questo è appunto il principio che ha portato alla realizzazione del microfono elettrostatico illustrato alla **figura 4-A.** In essa si nota che il condensatore consta di un'armatura solida fissa, e di una membrana sottile, leggera e flessibile, che costituisce una seconda armatura.

Se applichiamo una tensione tra le due armature, otteniamo nel circuito esterno un solo impulso di carica, dopo di che la corrente cessa. Tuttavia, se la membrana viene sollecitata da vibrazioni (dovute — ad esempio — a onde sonore), esse la costringono ad assumere successivamente una forma concava o convessa, a seconda che l'aria all'esterno viene rispettivamente compressa o rarefatta dalle onde sonore.

Tali variazioni di forma, consentite dall'elasticità del materiale con cui la membrana è realizzata, determinano a loro volta diminuzioni o aumenti della capacità dovuti alla variazione di distanza tra le armature. Ne consegue che, nel circuito del condensatore, si manifestano impulsi di corrente.

Alla base del funzionamento del microfono elettrostatico vi è dunque una tensione continua applicata alle sue armature. Per quanto riguarda il prelevamento degli impulsi di tensione, è bene fare, innanzitutto, una considerazione. Osservando la figura **4-B,** si nota che la tensione continua è applicata attraverso una resistenza: dal momento che la corrente continua non passa attraverso il condensatore, la resistenza non è percorsa da corrente, per cui ai suoi capi non si manifesta alcuna caduta di tensione. Di conseguenza, l'intera tensione è presente sulle armature. Non appena la membrana vibra a causa delle onde sonore che la colpiscono, si manifesta una debole corrente alternata, la quale provoca cadute di tensione proporzionali ai capi della resistenza. Da ciò è facile dedurre che tali cadute di tensione costituiscono una tensione alternata conseguente al suono e suscettibile di amplificazione.

Il microfono elettrostatico si distingue da tutti gli altri microfoni per una elevata uniformità di responso alle varie frequenze. Questa prerogativa lo rende adatto ad applicazioni in casi di esigenze particolari, tanto che esso viene impiegato negli studi di registrazione, e — in certi casi — come microfono campione per la taratura di apparecchiature elettroacustiche, nonchè per la misura di livelli sonori.

La tecnica costruttiva è stata col tempo perfezionata; infatti, allo scopo di normalizzare lo smorzamento della membrana dovuto alle variazioni interne della pressione, si è giunti a sagomare opportunamente l'armatura fissa, la quale è — in certi casi — provvista di una serie di fori o di scanalature, che hanno il compito di influire sulla pressione migliorando il responso.

La sensibilità di questo microfono non è elevata. Un altro inconveniente consiste nel fatto che l'elevata impedenza propria lo rende particolarmente sensibile ai campi elettrostatici esterni. Accanto alla capsula microfonica propriamente detta viene normalmente installato (nel medesimo involucro) il primo stadio di amplificazione. In tal modo, mediante opportuni accorgimenti, è possibile far sì che l'uscita sia caratterizzata da una impedenza relativamente bassa, e quindi molto meno sensibile ai campi di cui sopra.

La tensione con cui le armature vengono polarizzate, generalmente è compresa tra 150 e 300 volt; il valore della resistenza in serie è normalmente di qualche Megahom. Si possono realizzare esemplari del tutto particolari, il cui funzionamento può essere panoramico (sensibilità uniforme, indipendentemente dalla direzione di provenienza del suono), oppure direzionale (ossia sensibile ai suoni provenienti da una sola direzione). Dal momento che questo tipo di microfono funziona in conseguenza di variazioni della pressione dell'aria, il suo responso alla frequenza può essere influenzato da vari fattori. La tensione d'uscita è infatti proporzionale alla pressione sonora nella gamma delle frequenze medie e basse: tuttavia, mano a mano che la frequenza del suono aumenta, la tensione d'uscita varia per il fatto che la pressione interna (ossia dell'aria presente tra le armature) tende a contrastare i movimenti della membrana. Ciò comunque è in parte compensato dal fatto che i segnali elettrici presenti in uscita passano sempre attraverso il condensatore di accoppiamento. La reattanza di questo, maggiore alle frequenze basse e minore a quelle alte, compensa la variazione della tensione d'uscita.

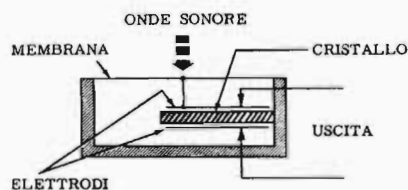



Fig. 5 A — Struttura interna di un microfono a cristallo. Le vibrazioni della membrana vengono trasmesse al cristallo, il quale emette impulsi elettrici proporzionali.

Fig. 5 B — Aspetto tipico di una capsula microfonica piezoelettrica. Viene installata in un apposito involucro.

Fig. 5 C — Aspetto di tipici microfoni a cristallo disponibili in commercio. Il primo è munito di controllo di volume. Il secondo può essere comodamente tenuto in mano.

Il microfono piezoelettrico

Ci siamo occupati già sommariamente della piezoelettricità, a pagina 111. Il microfono piezoelettrico è appunto uno dei casi in cui questo fenomeno viene sfruttato.

La **figura 5-A** illustra la struttura interna di un microfono di questo tipo. In esso si nota che la membrana è solidale al centro di un'ancoretta.

Il cristallo è generalmente di forma quadrata o rettangolare, e consta di due strati di sale di Rochelle, incollati tra loro. Alle superfici esterne dei due strati sono affacciati i due elettrodi connessi alla linea.

Quando la membrana vibra per effetto delle onde sonore, trasmette le sue vibrazioni al cristallo tramite l'ancoretta. Le sollecitazioni meccaniche applicate al cristallo fanno in modo che esso subisca delle flessioni lungo una delle diagonali; queste flessioni si traducono in impulsi elettrici tra gli elettrodi, grazie alle caratteristiche piezoelettriche.

Data la quasi totale mancanza di continuità tra le armature, l'impedenza interna del microfono piezoelettrico è elevatissima. Ciò consente di applicarlo direttamente all'ingresso (griglia) del primo stadio di amplificazione, senza l'ausilio di organi di accoppiamento. Inoltre, l'elevata sensibilità consente una buona potenza d'uscita senza eccessiva amplificazione.

Rispetto ai due tipi precedentemente descritti, il microfono piezoelettrico presenta il vantaggio di non necessitare — per il suo funzionamento — di una sorgente di tensione di eccitazione. Gli impulsi vengono infatti prodotti direttamente dal cristallo.

La struttura interna di un microfono piezoelettrico può anche essere multicellulare. In questo caso, esso consta di vari cristalli collegati parte in serie e parte in parallelo. Il loro numero varia da 6 a 20, e la combinazione delle varie unità consente di ottenere responsi lineari alla frequenza, praticamente sull'intera gamma di frequenze acustiche.

In linea di massima il microfono piezoeletrico può essere considerato uno dei più economici. Esistono infatti in commercio delle capsule che, pur avendo un funzionamento abbastanza soddisfacente, hanno un costo molto limitato. Per contro, esso presenta una certa delicatezza in quanto sensibilissimo all'umidità, e non sopporta temperature superiori a 45° C.

Il microfono magnetico

Acceniamo brevemente ad un tipo di microfono, detto anche a « riluttanza variabile », il cui uso è limitato soltanto alle realizzazioni economiche, nelle quali sia però necessaria una buona tolleranza alle variazioni di temperatura e ad un certo grado di umidità.

Esso è molto simile ad un microfono a cristallo; la differenza consiste nel fatto che all'interno, in luogo del cristallo, si trova un piccolo magnete permanente provvisto di espansioni polari chiuse su un traferro di circa 1 mm. Nel campo magnetico di questo traferro è immersa un'ancoretta di ferro dolce libera da un lato e rigida dall'altro, intorno alla quale si trova un avvolgimento realizzato con diverse centinaia di spire di filo di rame smaltato della sezione di qualche centesimo di millimetro. L'estremità libera dell'ancoretta è unita mediante un collegamento meccanico, leggero ma rigido, ad una mebrana di alluminio o di plastica.

Allorchè la membrana vibra per effetto delle onde sonore, le vibrazioni vengono trasmesse all'ancoretta, la quale viene così a tagliare il campo magnetico nel quale è immersa, con la medesima frequenza delle onde sonore. Come abbiamo detto, l'ancoretta vibrante costituisce il nucleo di un avvolgimento, per cui, per il principio basilare dell'elettromagnetismo, tutti gli impulsi magnetici presenti in esso a causa delle vibrazioni meccaniche, inducono impulsi di tensione nell'avvolgimento, impulsi che possono essere prelevati ai suoi capi ed amplificati, mediante valvole, nel modo consueto.

Esistono microfoni di questo tipo il cui avvolgimento ha un'impedenza talmente bassa da rendere necessario l'uso di un trasformatore per il collegamento alla valvola amplificatrice, mentre ne esistono altri la cui impedenza è tale da consentire il collegamento diretto. La **figura 6** illustra il principio di funzionamento.

Il microfono dinamico (a bobina mobile)

In questo tipo di microfono viene sfruttato il principio della produzione di corrente mediante lo spostamento di un conduttore in un campo magnetico costante. La **figura 7** rappresenta la struttura interna di un microfono dinamico. La membrana, generalmente di plastica o di alluminio, ha una forma tale da consentire un responso il più possibile lineare alle varie frequenze. Ad essa è fissata una bobinetta, avvolta con

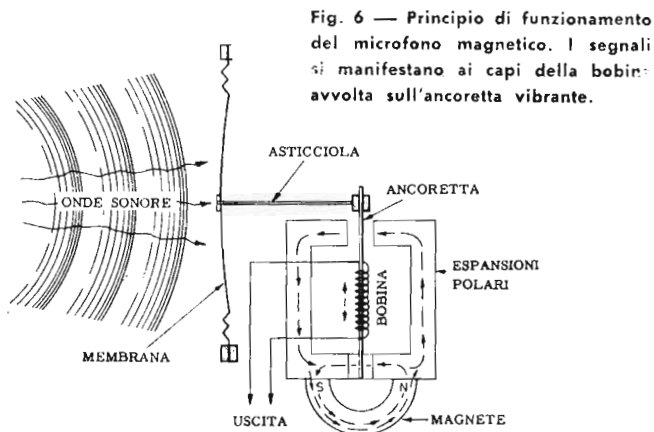



Fig. 6 — Principio di funzionamento del microfono magnetico. I segnali si manifestano ai capi della bobina avvolta sull'ancoretta vibrante.

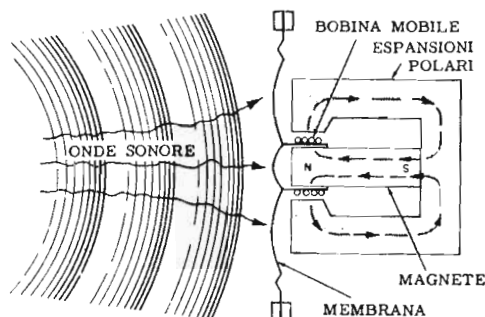



Fig. 7 — Principio di funzionamento del microfono dinamico. La bobina mobile, immersa nel traferro di un potente magnete, ne taglia il campo magnetico allorchè viene fatta vibrare dalla membrana.

diverse spire di filo sottilissimo al fine di contenere il peso nel minimo indispensabile.

Detta bobina è immersa in un intenso campo magnetico reso disponibile da un magnete, per lo più a forma di anello, ai cui poli sono fissate le espansioni polari che concentrano il flusso magnetico nella zona in cui si trova la bobina.

Le vibrazioni della membrana, dovute alle onde sonore, vengono trasmesse alla bobina, la quale si sposta verso l'esterno se l'aria viene rarefatta, o verso l'interno se invece si manifesta una pressione. Di conseguenza, la bobina mobile viene a tagliare il campo magnetico in un senso o nell'altro, rendendo disponibili ai suoi capi impulsi elettrici di polarità conforme e di ampiezza proporzionale agli spostamenti (e quindi all'intensità del suono).

Ovviamente, a causa della necessaria leggerezza della bobina (poche spire) questo microfono non può avere una impedenza interna elevata; è perciò necessario un trasformatore microfonico per l'accoppiamento alla griglia di una valvola amplificatrice.

Uno dei vantaggi offerti dal microfono a bobina è la relativa insensibilità alle condizioni ambientali. Esso difficilmente risente degli sbalzi di temperatura, e, allorchè la membrana è di alluminio, è praticamente insensibile all'umidità. La sensibilità ai suoni è abbastanza elevata.

Esistono microfoni dinamici di pretese limitate, il cui costo è abbastanza modesto. Essi possono funzionare in modo soddisfacente su gamme di frequenza comprese all'incirca tra 100 e 7.000 Hz. Per contro esistono tipi professionali, molto più costosi, il cui funzionamento è uniforme da 30 a 16.000 Hz. La differenza tra i due tipi consiste nelle caratteristiche della membrana, nella bobina e nell'intensità del campo magnetico, come pure nei dispositivi adottati per adeguare opportunamente la pressione interna.

A tale scopo, poichè ogni spostamento della membrana determina successive compressioni e rarefazioni dell'aria contenuta, è necessario creare una comunicazione con l'esterno onde evitare che dette variazioni di pressione turbino la caratteristica dinamica della membrana. Qust'ultima, inoltre, ha — come tutti i corpi solidi — una sua frequenza di risonanza. Allorchè essa vibra in corrispondenza di un suono avente tale frequenza l'ampiezza delle vibrazioni è notevolmente maggiore che non per le altre frequenze. Da ciò deriva un segnale di ampiezza maggiore e quindi un responso non uniforme. I sistemi di smorzamento applicati alla membrana costituiscono un rimedio a tale inconveniente.

Normalmente, nel medesimo involucro che contiene l'unità microfonica, è installato il trasformatore di accoppiamento. Se la sua uscita è ad alta impedenza (per le linee di lunghezza ridotta), esso viene denominato trasformatore « bobina griglia ». Nei casi invece in cui la linea deve avere una certa lunghezza, ad evitare di captare rumori di fondo dovuti alla presenza di campi magnetici esterni, si preferisce usare un trasformatore detto « bobina-linea » avente un'uscita ad impedenza media (da 200 a 600 ohm), al quale fa seguito un secondo trasformatore, detto « linea-griglia » installato in prossimità dell'amplificatore.

Affinchè questi trasformatori non apportino perdite in alcune zone della gamma di frequenze, sono avvolti su nuclei di materiali speciali, come ad esempio il « permalloy » o il « mumetal », la cui elevata permeabilità consente risultati molto migliori che non col comune ferro al silicio: essi sono inoltre accuratamente schermati.

Il microfono a nastro o « a velocità »

Il microfono a nastro, detto anche « a velocità », il cui principio di funzionamento è illustrato dalla **figura 8-A**, prende il nome dal fatto che esso funziona a causa della differenza di pressione che esiste tra le facce anteriore e posteriore di un nastro di alluminio sottile ed ondulato, immerso tra le espansioni polari di uno o più magneti permanenti.

La costruzione è realizzata in modo tale che le onde sonore abbiano facile accesso al nastro, la cui leggerezza è tale da consentirgli di seguire fedelmente le vibrazioni dell'aria anche per le frequenze elevate.

La frequenza di risonanza del nastro viene portata ad un valore inferiore alla frequenza più bassa percepibile dall'orecchio umano.

Le onde sonore, costringendo il nastro a vibrare, producono in esso una f.e.m. dato che il nastro taglia il campo magnetico. Detta forza si manifesta alle estremità del nastro, le quali devono necessariamente essere isolate: la tensione viene portata al primario di un

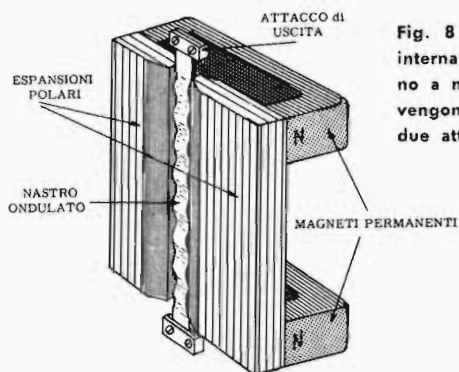



Fig. 8 A — Struttura interna di un microfono a nastro. I segnali vengono prelevati dai due attacchi di uscita.

Fig. 8 B — Aspetto di un tipico microfono a « doppio nastro » di produzione nazionale. Consente un funzionamento uniforme su tutta la gamma delle frequenze acustiche.

piccolo trasformatore contenuto nel medesimo involucro del microfono. Anche in questo caso il trasformatore può essere adatto ad un accoppiamento diretto (trasformatore « nastro-griglia ») oppure, nel caso di notevole distanza tra il microfono e l'amplificatore, può avere un secondario a media impedenza, ossia a impedenza di linea. In tale modo la linea stessa viene poi collegata al primario di un secondo trasformatore « linea-griglia » che eleva ulteriormente l'impedenza.

Una delle caratteristiche più importanti del microfono a nastro, oltre al fatto che consente una buona linearità di responso tra circa 40 e 10.000 Hz, consiste nella sua bidirezionalità: esso infatti, ha la massima sensibilità per le onde sonore provenienti da una direzione perpendicolare al piano del nastro, sia in avanti che indietro, mentre la sensibilità diminuisce fino a diventare pressochè nulla per le onde sonore provenienti dai lati.

Per contro, un inconveniente di questo tipo di microfono risiede nella sua estrema delicatezza e nella impossibilità di utilizzazione all'aperto, specie in zone in cui l'aria è mossa dal vento, il quale può danneggiare gravemente il nastro.

La figura 8-**B** illustra un tipico microfono a nastro.

EFFETTO di DIREZIONALITA'

I microfoni *omnidirezionali* o « panoramici » captano tutte le onde sonore, qualunque ne sia la direzione di provenienza. Sono inoltre sensibili alle note acute provenienti dalla parte anteriore. Questo gruppo comprende tutti i microfoni il cui effetto direttivo non viene tenuto in considerazione nelle caratteristiche generali. La **figura 9-A** illustra la zona circolare dalla quale possono provenire i suoni diretti ad un microfono panoramico, supposto che questo si trovi in corrispondenza del punto dei due diametri perpendicolari.

I microfoni *bidirezionali* captano solo i suoni prodotti anteriormente e posteriormente al microfono. Il rumore ambientale viene perciò attenuato, e si ha anche meno pericolo che si generi l'effetto « Larsen » ossia una indesiderata reazione tra microfono e altoparlante — della quale ci occuperemo a suo tempo — che non con i tipi omnidirezionali; per contro, risulta più critica la posizione rispetto alla sorgente sonora (figura 9-**B**).

I microfoni *unidirezionali* (o a cardioide) captano esclusivamente i suoni prodotti anteriormente; il loro nome è dovuto al fatto che la curva direzionale (figura 9-**C**) espressa in coordinate polari, è a forma di cuore.

La riproduzione del rumore dell'ambiente è ancora più debole, ed ancora minore è il pericolo dell'effetto « Larsen » che con i tipi bidirezionali; la determinazione della posizione di installazione è molto facile.

I microfoni *ipercardioidi* costituiscono il perfezionamento del microfono a cardioide. Il rumore viene attenuato al massimo e minimo risulta il pericolo dello effetto « Larsen ». Data la forma particolare della curva direzionale, (figura 9-**D**), la determinazione della posizione corretta rispetto alla sorgente sonora, risulta un po' più difficile che per il microfono a cardioide.

Questi tipi di microfoni vengono realizzati incorporando nel medesimo involucro due unità microfoniche e spesso, unendo una unità a nastro ad una unità dinamica. Come sappiamo, la prima ha una sensibilità bidirezionale mentre la seconda ha una sensibilità pressochè panoramica. Dal momento che lo spostamento del nastro avviene per suoni provenienti da due direzioni, mentre nel microfono dinamico la tensione di uscita è pressochè indipendente dalla direzione di provenienza dei suoni, i due segnali, collegati in serie, si sommano o si sottraggono a seconda della polarità reciproca. In tal modo i suoni provenienti dalla parte anteriore al microfono determinano impulsi di tensione pari alla somma delle due uscite, mentre quelli provenienti dalla parte posteriore determinano impulsi pari alla loro differenza. Ne consegue che, limitando opportunamente l'amplificazione subita da detti impulsi, è possibile ottenere un'ottima resa rispetto ai suoni prodotti anteriormente al microfono, mentre la resa diminuisce gradatamente man mano che la sorgente sonora si sposta radialmente intorno al microfono stesso, fino a diventare pressochè nulla nei confronti dei suoni prodotti posteriormente. Il microfono unidirezionale si dimostra particolarmente utile durante le registrazioni di esecuzioni orchestrali effettuate con diversi microfoni collegati ad altrettanti canali d'ingresso dell'amplificatore. Infatti, variando opportunamente l'amplificazione relativa, è possibile ottenere effetti sonori particolari, in quanto ogni microfono percepisce soltanto il suono emesso dagli strumenti di fronte ai quali esso

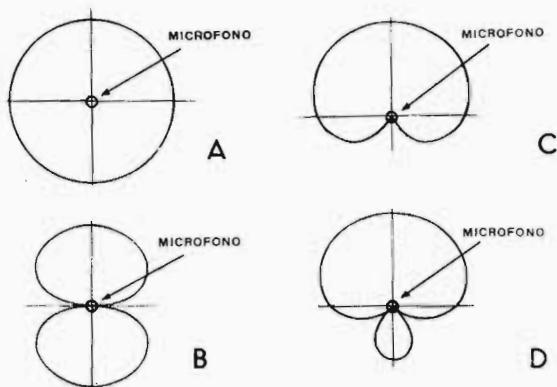



Fig. 9 — A) Curva panoramica; B) Curva bidirezionale; C) Curva cardioide; D) Curva ipercardioide.

Fig. 10 — Aspetto di tipici altoparlanti dinamici. Si notino le ondulazioni presenti sul bordo esterno del cono, che ne agevolano la vibrazione. Il terzo a destra è di forma ellittica.

è stato installato. Un'altra utilizzazione pratica, è costituita dalle interviste effettuate in luoghi pubblici e rumorosi: in tal caso è infatti possibile udire in prevalenza la voce degli interlocutori, eliminando i rumori ambientali tanto quanto basta per non togliere l'effetto della ripresa sonora in un luogo a livello di rumore d'ambiente piuttosto elevato.

SENSIBILITA' di un MICROFONO

La tensione di segnale prodotta da un microfono, varia con la sensibilità dello stesso, nonchè col variare dell'intensità del suono e della distanza della sorgente sonora.

Per valutare la sensibilità di un microfono, si misura la tensione d'uscita relativa ad una data pressione acustica sulla membrana; essa viene normalmente espressa in « millivolt per microbar, (mV/μbar) » (tabella 62, pagina 358), oppure in decibel riferiti ad 1 volt.

In quest'ultimo caso, una sensibilità denunciata, ad esempio in — 50 dB, significa che il livello di tensione del segnale è di 50 dB inferiore ad 1 volt.

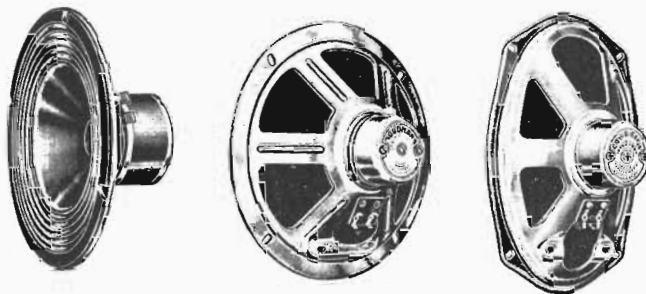
La curva di responso alla frequenza da parte di un microfono, viene rilevata misurando l'uscita corrispondente alla percezione di suoni di varie frequenze, tenendo costante l'intensità dei suoni prodotti da un apposito generatore, e la distanza del microfono.

L'ALTOPARLANTE

I suoni percepiti da un microfono, amplificati, ed eventualmente trasmessi mediante onde radio, devono essere trasformati in onde sonore ad opera di un riproduttore.

La cuffia, della quale ci siamo già occupati, è il primo riproduttore che consentì l'ascolto dei segnali provenienti da un microfono. Essa è tuttora utilizzata negli impianti telefonici e ogni qualvolta l'ascolto deve essere riservato ad uno o a pochi operatori.

Anche nell'esposizione relativa agli altoparlanti, così come abbiamo fatto per i microfoni, seguiremo un certo ordine cronologico, che rispecchia anche qui, in certo qual modo, l'evoluzione costruttiva.

La caratteristica essenziale di un altoparlante consiste nel riprodurre il più fedelmente possibile i suoni percepiti dal microfono. Il suo compito è di ritrasformare le vibrazioni elettriche che variano in frequenza ed in ampiezza in vibrazioni meccaniche, le quali — a loro volta — vengono ritrasformate in onde sonore mediante una membrana flessibile che comprime più o meno l'aria circostante.

L'altoparlante magnetico

Il principio di funzionamento è del tutto analogo a quello del microfono e della cuffia; come nei casi suddetti, si ha un magnete permanente provvisto di espansioni polari nel cui campo si trova un'ancoretta fissata da un lato, e collegata dall'altro — mediante una asticciola — al centro di un cono di carta speciale.

L'unica differenza, oltre che nelle dimensioni, consiste nel fatto che il suo compito, invece che nel trasformare onde sonore in impulsi di corrente, è volto a trasformare questi ultimi in onde sonore. Infatti, i segnali a c.a. applicati all'avvolgimento posto intorno all'ancoretta vibrante, costringono quest'ultima ad avvicinarsi alternativamente all'una o all'altra espansione polare, a seconda della polarità dei segnali stessi. Dette vibrazioni meccaniche, trasmesse al cono mediante un perno rigido, si traducono in onde sonore. Il cono deve avere caratteristiche tali da permettere la riproduzione il più possibile fedele al suono originale, senza introdurre vibrazioni parassite.

Il bordo esterno è fissato rigidamente ad un supporto circolare, ed il cono è foggiato in maniera tale da consentire oscillazioni meccaniche libere, ossia prive di attriti, grazie alle ondulazioni e all'alleggerimento presente in prossimità della circonferenza massima.

Questo tipo di altoparlante è oggi superato dal tipo detto « dinamico » o « a bobina mobile » in quanto quest'ultimo permette una riproduzione molto più fedele ed il raggiungimento di potenze sonore più elevate.

L'altoparlante dinamico

Questo tipo di altoparlante è basato sul medesimo principio del microfono a bobina mobile; anche in questo caso, la differenza rispetto al microfono consiste, oltre che nelle dimensioni, nel fatto che il funzionamento avviene in senso opposto. Come si vede alla **figura 10,** esso è costituito da un « cestello », che agisce da supporto nei confronti del cono e del complesso ma-

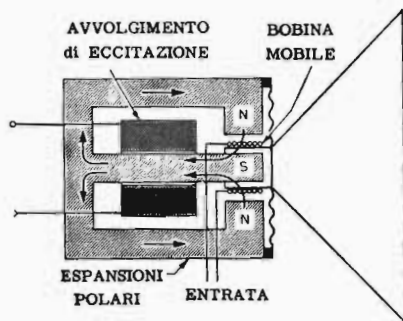



Fig. 11 — Struttura di un altoparlante elettrodinamico. Il campo magnetico deriva dalla corrente che percorre l'avvolgimento di eccitazione.

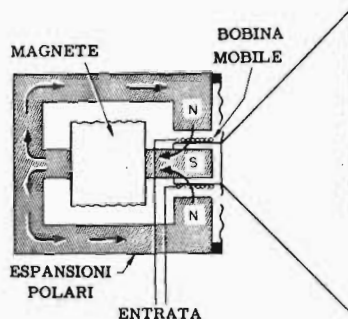



Fig. 12 — L'altoparlante magnetodinamico elimina l'eccitazione, che è sostituita da un potente magnete permanente. Il funzionamento è eguale.

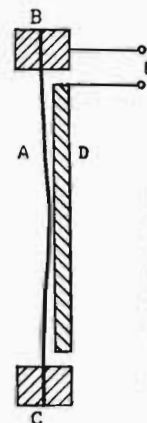



Fig. 13 — Struttura interna di un altoparante elettrostatico. È analogo al microfono a condensatore. Viene usato per la sola riproduzione delle note molto alte.

gnetico. Al centro del cono è fissata una bobina supportata da un cilindro di cartoncino leggero, immersa in un campo magnetico costante e di notevole intensità.

A questo punto è necessario chiarire la distinzione tra l'altoparlante «elettrodinamico» ed il tipo «magneto dinamico». Nel primo caso il campo magnetico costante è determinato dalla corrente continua che percorre un avvolgimento installato intorno al nucleo centrale del magnete (**figura 11-A**): era di uso corrente fino a pochi anni orsono, e la corrente necessaria per l'eccitazione era costituita dalla medesima corrente anodica che serviva per l'alimentazione del ricevitore o dell'amplificatore. Infatti, l'avvolgimento di eccitazione, detto anche bobina di campo, sostituiva l'impedenza di filtro collegata in serie al circuito di alimentazione anodica nella sezione filtrante dell'alimentatore. Nel caso invece dell'amplificatore a Bassa Frequenza a volte, detta bobina veniva alimentata da un apposito alimentatore che non partecipava all'alimentazione dell'apparecchio amplificatore.

In base alla moderna realizzazione dell'altoparlante dinamico, come si nota alla figura 11-**B**, il campo magnetico è determinato da un magnete permanente di una lega speciale (Alnico) che consente una notevole intensità di campo con dimensioni e peso ridotti.

La tecnica moderna ha permesso la realizzazione di altoparlanti le cui caratteristiche consentono la riproduzione fedele delle frequenze comprese tra 20 e 16.000 Hz., e, come vedremo a proposito degli impianti ad alta fedeltà, è possibile ottenere un ottimo rendimento montando contemporaneamente unità magneto-dinamiche di notevoli dimensioni destinate alla riproduzione delle frequenze basse, ed unità di piccole dimensioni destinate invece alla riproduzione delle frequenze acute. La differenza tra tali tipi di unità consiste nel diverso dislocamento della frequenza di risonanza rispetto allo spettro delle frequenze che lo altoparlante è in grado di riprodurre.

Esistono delle unità magnetodinamiche di dimensioni relativamente ridotte, che possono sviluppare notevoli potenze acustiche grazie all'accoppiamento ad una «tromba» sagomata in modo da accentuare il rendimento. Tali tipi di altoparlanti prendono il nome di altoparlanti a **tromba esponenziale**: essi hanno un responso alla frequenza generalmente limitato alla voce umana, per cui vengono quasi esclusivamente utilizzati per gli impianti di amplificazione destinati allo uso all'aperto, in occasione di discorsi pubblici, ecc. Altre unità infine, di dimensioni tali che il diametro massimo non supera i 50 mm, vengono usate per la realizzazione di cuffie con membrana di materia plastica. Esse vengono utilizzate in sostituzione delle cuffie magnetiche per ragioni speciali, come ad esempio per il controllo da parte degli operatori durante le radiotrasmissioni o le registrazioni sonore, dato che consentono una riproduzione fedele dell'intera gamma.

L'altoparlante elettrostatico

L'uso di questo altoparlante è limitato a pochi casi speciali a causa della sua delicatezza e dell'alta tensione necessaria per la polarizzazione. Tuttavia, esso ha notevoli prerogative come riproduttore delle frequenze acustiche elevate, in casi di esigenze meccaniche ed elettriche limitate. Il suo costo è notevolmente inferiore a quello del tipo dinamico. L'altoparlante elettrostatico non presenta frequenze di risonanza pronunciate nella gamma compresa tra 7 kHz, e 20 kHz, gamma per la quale viene adottato.

In pratica esso consiste in un condensatore costituito da due elettrodi (**figura 12**). La membrana *A*, normalmente costituita da un sottile foglio di metallo o di materia plastica metallizzata, costituisce uno degli elettrodi, ed è fissata alle estremità nei punti *B* e *C*. L'elettrodo posteriore *D*, realizzato con una piastrina metallica di un certo spessore, costituisce la seconda armatura e si trova a distanza minima dalla membrana. La tensione di polarizzazione applicata tra *A* e *D*, crea una reciproca attrazione elettrostatica che tende ad unire le due armature. Dal momento che soltanto *A* è abbastanza flessibile da muoversi, essa flette nel centro, ma è impossibilitata a toccare l'altro elettrodo a causa della sua rigidità meccanica.

Il potenziale a c.c. di polarizzazione è indispensabile, così come è indispensabile la presenza, ad esempio, di un magnete permanente in una cuffia, in quanto il segnale a c.a. viene — a seconda della polarità delle semionde — a sommarsi o a sottrarsi alla d.d.p. esistente.

Dal momento che quest'ultima tende già a rendere concava la membrana, questa, per effetto del segnale, si avvicina o alla posizione di riposo (quando il segnale si sottrae dalla polarizzazione) o dall'elettrodo fisso (quando il segnale si somma alla polarizzazione).

SIMBOLI - ABBREVIAZIONI

E_A = Tensione di picco del segnale modulante
E_{MAX} = Tensione di picco massima di una portante modulata
E_{MIN} = Tensione di picco minima di una portante modulata
E_R = Tensione di picco della portante
f_A = Frequenza del segnale modulante
f_C = Frequenza della portante
f_L = Frequenza della banda laterale inferiore
f_S = Frequenza della banda laterale superiore
FM = Modulazione di frequenza (« Frequency Modulation »)
M = Percentuale di modulazione
MA (AM) = Modulazione di ampiezza (« Amplitude Modulation »)
PM = Modulazione di fase (« Phase Modulation »)
t = Tempo
$\Delta\varphi$ = Variazione di un angolo di fase
φ = Angolo di fase

FORMULE

$$M = \frac{E_{MAX} - E_{MIN}}{E_{MAX} + E_{MIN}} \times 100$$

$\Delta F = \Delta\varphi \, f \cos(2\pi ft)$

Per modulazione del 50% :

$E_A = E_R : 2$
$E_{MAX} = 3E_A$
$E_{MIN} = E_R : 2$

Per modulazione del 100%:

$E_A = E_R$
$E_{MAX} = 2E_R = 2E_A$
$E_{MIN} = 0$

SEGNI SCHEMATICI

 = Microfono in genere

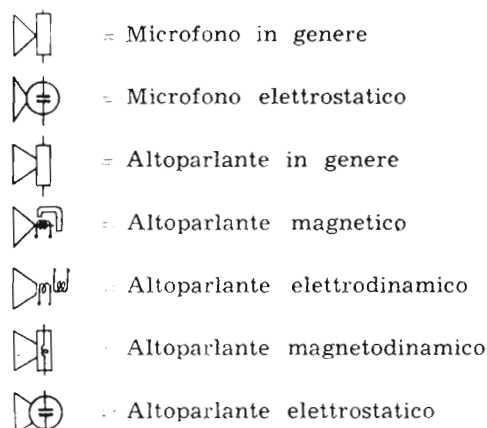
 = Microfono elettrostatico

 = Altoparlante in genere

 = Altoparlante magnetico

 = Altoparlante elettrodinamico

 = Altoparlante magnetodinamico

 = Altoparlante elettrostatico

DOMANDE sulle LEZIONI 61ª e 62ª

N. 1 —
Quali sono le caratteristiche di un'onda portante, sulle quali si interviene per effettuare la modulazione?

N. 2 —
In quale modo si verifica la modulazione di ampiezza?

N. 3 —
Come può essere definita la percentuale di modulazione di un'onda portante?

N. 4 —
Quante e quali sono le frequenze che compongono un'onda modulata in ampiezza?

N. 5 —
In quale parte di una portante modulata è contenuta l'informazione, ossia il segnale a Bassa Frequenza intelligibile?

N. 6 —
Quale è lo svantaggio principale della modulazione di ampiezza, in confronto alla modulazione di frequenza?

N. 7 —
Cosa accade in un'onda portante allorchè si applica una modulazione di frequenza?

N. 8 —
Cosa accade in un'onda portante allorchè si applica una modulazione di fase?

N. 9 —
Per quale motivo, nella modulazione di ampiezza, la potenza modulante non deve essere superiore alla metà della potenza da modulare (ossia della potenza della portante)?

N. 10 —
Per quale motivo i segnali provenienti da un microfono a carbone possono essere riprodotti anche senza amplificazione?

N. 11 —
Quale è il compito del trasformatore microfonico?

N. 12 —
Quali sono i tipi di microfono che non possono essere impiegati senza un trasformatore microfonico?

N. 13 —
Quale è il compito del trasformatore « linea-griglia »?

N. 14 —
Per quale motivo le vibrazioni della membrana di un microfono elettrostatico si traducono in segnali elettrici?

N. 15 —
Quale è il compito del magnete permanente in un microfono dinamico o a nastro?

N. 16 —
Quale è la differenza tra un microfono panoramico, uno bidirezionale, ed uno a cardioide?

N. 17 —
Quale è la differenza tra un altoparlante elettrodinamico ed un altoparlante magnetodinamico?

N. 18 —
Quale è il compito della bobina mobile in un altoparlante dinamico?

RISPOSTE alle DOMANDE di Pag. 473

N. 1 — Il funzionamento di un trasformatore di Bassa Frequenza deve svolgersi su tutta la gamma delle frequenze audio, e non sulla sola frequenza della tensione di rete.

N. 2 — Per il fatto che, pur consentendo un guadagno se il rapporto di trasformazione è in salita, la caratteristica non lineare della reattanza alle varie frequenze, e l'aggiunta della capacità distribuita tra gli avvolgimenti, rende la curva di responso meno lineare che non con uno stadio ad accoppiamento RC.

N. 3 — Mediante l'accoppiamento attraverso un trasformatore di uscita.

N. 4 — Trasformare in notevoli impulsi di corrente, gli impulsi di tensione che si manifestano ai capi dell'avvolgimento primario.

N. 5 — Certamente, in quanto il secondario può essere provvisto di varie prese, corrispondenti a vari valori di impedenza. Naturalmente il prodotto tra tensione e corrente resta in ogni caso costante.

N. 6 — Fornire alle due griglie delle valvole finali due segnali contemporanei e sfasati reciprocamente di 180°.

N. 7 — L'impedenza reale e l'impedenza riflessa non sono eguali tra loro. La seconda è il rapporto tra la tensione presente ai capi del primario e la corrente che lo percorre, derivanti dal carico al secondario e dal rapporto di trasformazione.

N. 8 — Se il trasformatore è in salita, l'impedenza riflessa è minore dell'impedenza di carico, e viceversa.

N. 9 — Un autotrasformatore consta sempre di un unico avvolgimento, provvisto di almeno una presa intermedia.

N. 10 — Perchè, ferma restando la potenza dissipabile al secondario, può essere realizzato con un notevole risparmio di rame e di ferro nei confronti del primo.

N. 11 — No. La corrente circolante e solo quella proporzionale alla reattanza dell'avvolgimento offerta alla frequenza della tensione di rete.

N. 12 — No. Nel funzionamento come riduttore le correnti in gioco sono di minore intensità.

N. 13 — Alla differenza tra la corrente primaria e la corrente secondaria. Anche ciò contribuisce all'economia dell'autotrasformatore, in quanto consente la realizzazione degli avvolgimenti con un conduttore più sottile di quello necessario in un trasformatore avente le medesime caratteristiche di funzionamento.

N. 14 — No. La potenza in gioco è la sola potenza di trasformazione. Ciò è dovuto al fatto che il circuito primario e quello secondario hanno in comune una parte dell'avvolgimento, nel quale — come sappiamo — le correnti si sottraggono agli effetti pratici, pur continuando ad esercitare la loro influenza agli effetti del trasferimento di energia.

TABELLA 68 — VALORI TIPICI per STADI di AMPLIFICAZIONE del tipo RC

Facciamo seguito alla tabella 67, riportata alla lezione 60ª e relativa agli stadi di amplificazione del tipo RC utilizzanti i triodi. La tabella che pubblichiamo ora riporta, invece, i valori tipici di funzionamento dei pentodi più comuni impiegati in tali circuiti. Le due serie di tabelle forniscono complessivamente dati pratici di progetto relativi ad oltre 50 tipi di valvole tra le più correnti.

INDICE

Tipo di valvola	Gruppo				
		6AU6	N	4BC5	P
		6SH7	N	6AG5	P
1DN5	L	12AU6	N	6BC5	P
1S5	L	5879(P)	O	6CB6	P
1U5	L	3BC5	P	6CB6-A	P
1U4	M	3BC6	P	6CF6	P
3AU6	N	3CF6	P	7199(P)	Q
4AU6	N	4CB6	P	12AY7	I

Per quanto riguarda la polarizzazione delle griglie schermo, si noti che i valori elencati si riferiscono esclusivamente al sistema con resistenza di caduta in serie. Questo sistema, allorchè lo schema ne consente l'applicazione, così come il metodo di polarizzazione con resistenza in serie al catodo, presenta diversi vantaggi rispetto al sistema di polarizzazione fissa. Tali vantaggi sono: attenuazione delle possibili differenze tra valvola e valvola; possibilità di funzionamento su un'ampia gamma di tensione di alimentazione anodica senza notevole variazione del guadagno; facile variazione della frequenza di taglio inferiore dell'amplificatore e, infine, attenuazione della tendenza all'innesco di oscillazioni su frequenze basse.

I vantaggi di cui sopra possono essere accentuati mediante l'aggiunta di filtri adeguati di disaccoppiamento nel circuito di alimentazione anodica di ogni singolo stadio dell'amplificatore. Adottando i filtri in questione è possibile alimentare tre o più stadi dallo stesso alimentatore di tipo convenzionale, senza incontrare con ciò alcuna difficoltà dovuta ad accoppiamenti desiderati con altri stadi, attraverso l'alimentatore.

Se non vengono adottati filtri di disaccoppiamento, non è possibile, con lo stesso alimentatore, alimentare più di due stadi di amplificazione.

I simboli adottati, sono analoghi a quelli della tabella 67, e, con l'aggiunta di quelli relativi ai pentodi, sono i seguenti:

C = Capacità di accoppiamento, in µF.
C_{g2} = Capacità di griglia schermo (tra G_2 e massa), in µF.
C_k = Capacità catodica (in parallelo ad R_k), in µF.
E_{bb} = Tensione anodica di alimentazione, da non confondere con la tensione presente direttamente sulla placca. Questa è data da E_{bb} meno la caduta di tensione che si manifesta ai capi di R_p e di R_k. È espressa in volt.
R_{g2} = Resistenza di polarizzazione di schermo, in Mohm.
R_k = Resistenza di polarizzazione di catodo, in ohm.
R_g = Resistenza di griglia (di fuga), in Mohm.
R_p = Resistenza di placca, in Mohm.
VG = Guadagno di tensione con uscita di 5 volt eff. a meno che non sia diversamente specificato.

E_o = Tensione di picco di uscita in volt. Detta tensione si manifesta ai capi di R_g dello stadio successivo in corrispondenza di qualsiasi frequenza compresa nel tratto lineare della curva di responso. Ciò è subordinato alle condizioni che sussistono allorchè l'ampiezza del segnale è tale da variare la tensione di griglia dello stadio RC fino al punto in cui la griglia stessa inizia ad assorbire corrente.

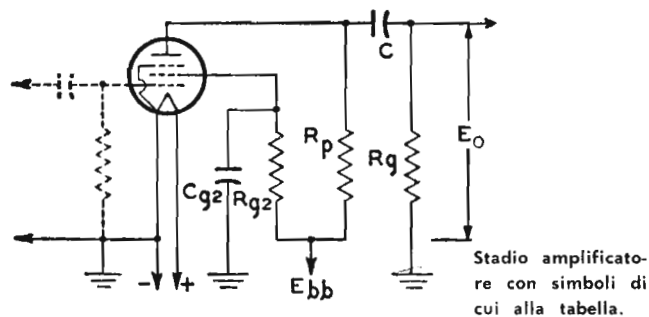
N.B. Per tensioni di alimentazione anodica che differiscono del 50 per cento da quelle considerate nelle tabelle, i valori delle resistenze e delle capacità, nonchè quelli del guadagno di tensione, sono approssimativamente esatti. Tuttavia, il valore della tensione di uscita, corrispondente ad uno qualsiasi di tali differenti valori, equivale alla tensione di uscita elencata, moltiplicata per il rapporto tra la tensione anodica differente e quella corrispondente al medesimo valore elencato.

Curva di responso degli stadi a resistenza-capacità, i cui valori di progetto sono raggruppati nelle tabelle 67 e 68. La tensione di uscita è riferita, come si vede, a 420 Hz, mentre « f 1 » ed « f 2 » sono le frequenze, rispettivamente più bassa e più alta, entro le quali si desidera mantenere l'amplificazione nei limiti indicati nel testo.

AMPLIFICATORE a PENTODO (riscal. diretto)

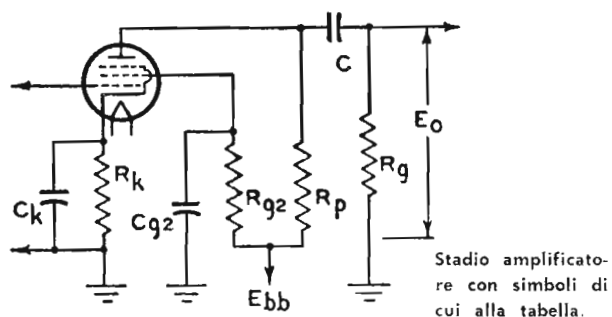
Le capacità C e C_{g2} sono state scelte con valori tali da dare una tensione d'uscita pari a 0.8 x E_o, per una frequenza f_1 di 100 Hz. Per qualsiasi altro valore di f_1, moltiplicare i valori di C e di C_{g2} per il rapporto di 100 : f_1.

La tensione d'uscita corrispondente a f_1 per un numero « n » di stadi eguali tra loro equivale a $(0,8)^n$ x E_o, nella quale E_o rappresenta la tensione di picco dello stadio finale.

Per un amplificatore di costruzione convenzionale, e per valori R_p di 0,1 - 0,25 e 0,5 Mohm, i valori approssimativi di f_2 sono rispettivamente di 20.000, 10.000 e 5.000 Hz. Si noti che i valori della capacità di ingresso alla griglia, in microfarad, e della resistenza di griglia, in Megahom, devono essere tali che il loro prodotto sia compreso tra 0,02 e 0,1. Valori tipici sono rispettivamente 0,005 µF e 10 Mohm.

Stadio amplificatore con simboli di cui alla tabella.

AMPLIFICATORE a PENTODO (riscal. indiretto)

Le capacità C, Ck e C_{g2} sono state scelte con valori tali da consentire un'uscita pari a 0,7 × E_o, con una frequenza f_1 di 100 Hz. Per qualsiasi altro valore di f_1 moltiplicare tali valori per il rapporto 100 : f_1. Per quanto riguarda la capacità Ck, i valori elencati nelle tabelle sono riferiti all'accensione del filamento mediante corrente continua. Se l'accensione ha luogo invece con una corrente alternata, a seconda delle caratteristiche dei circuiti associati, del guadagno di tensione, e del valore di f_1, può essere necessario aumentare il valore di Ck allo scopo di ridurre il rumore di fondo. Può anche essere utile dare al filamento un potenziale positivo compreso tra 15 e 40 volt rispetto al catodo.

Stadio amplificatore con simboli di cui alla tabella.

La tensione d'uscita relativa alla frequenza f_1, per un numero « n » di stadi eguali tra loro, equivale $(0,7)^n$ x E_o, nella quale E_o è la tensione di picco di uscita dello stadio finale.

Per un amplificatore tipico, e per valori di R_p pari a 0,1 - 0,25 e 0,5 Mohm, i valori approssimativi di f_2 sono rispettivamente 20.000 - 10.000 e 5.000 Hz.

Ebb	Rp	Rg	Rg2	Rk	Cg2	Ck	C	Eo	V.G.
90	0.1	0.24	–	1800	–	–	–	13	24
	0.24	0.51	–	3700	–	–	–	14	26
	0.51	1.0	–	7800	–	–	–	16	27
180	0.1	0.24	–	1300	–	–	–	31	27
	0.24	0.51	–	2800	–	–	–	33	29
	0.51	1.0	–	5700	–	–	–	33	30
300	0.1	0.24	–	1200	–	–	–	58	28
	0.24	0.51	–	2300	–	–	–	30	30
	0.51	1.0	–	4800	–	–	–	56	31

Valvola

12AY7•■

▲ Si veda alla lezione 59ª

• Sezione triodo, ovvero una delle unità.

■ Guadagno di tensione misurato con uscita di 2 volt eff.

GRUPPO"L"

Valvole
1S5
1U5
1DN5

Ebb	Rp	Rg	Rg2	Rk	Cg2	Ck	C	Eo	V.G.
45	0.22	0.22	0.26	–	0.042	–	0.013	14	17
		0.47	0.36	–	0.035	–	0.006	17	24
		1.0	0.4	–	0.034	–	0.004	18	28
	0.47	0.47	0.82	–	0.025	–	0.0055	14	25
		1.0	1.0	–	0.023	–	0.003	17	33
		2.2	1.1	–	0.022	–	0.002	18	38
	1.0	1.0	1.9	–	0.019	–	0.003	14	31
		2.2	2.0	–	0.019	–	0.002	17	38
		3.3	2.2	–	0.018	–	0.0015	18	43
90	0.22	0.22	0.5	–	0.05	–	0.011	31	25
		0.47	0.59	–	0.05	–	0.006	37	34
		1.0	0.67	–	0.042	–	0.003	40	41
	0.47	0.47	1.2	–	0.035	–	0.005	31	37
		1.0	1.4	–	0.034	–	0.003	36	47
		2.2	1.6	–	0.031	–	0.002	40	57
	1.0	1.0	2.5	–	0.026	–	0.003	31	45
		2.2	2.9	–	0.025	–	0.002	36	58
		3.3	3.1	–	0.024	–	0.0012	38	66
135	0.22	0.22	0.66	–	0.052	–	0.011	45	31
		0.47	0.71	–	0.051	–	0.006	56	41
		1.0	0.86	–	0.039	–	0.003	60	54
	0.47	0.47	1.45	–	0.042	–	0.005	46	44
		1.0	1.8	–	0.034	–	0.003	54	62
		2.2	1.9	–	0.033	–	0.002	60	71
	1.0	1.0	3.1	–	0.03	–	0.003	45	56
		2.2	3.7	–	0.029	–	0.0015	53	76
		3.3	4.3	–	0.026	–	0.0014	56	88

Valvola
1U4

GRUPPO"M"

Ebb	Rp	Rg	Rg2	Rk	Cg2	Ck	C	Eo	V.G.
45	0.22	0.22	0.06	–	0.046	–	0.011	11	23
		0.47	0.07	–	0.045	–	0.006	15	33
		1.0	0.011	–	0.04	–	0.003	17	39
	0.47	0.47	0.34	–	0.025	–	0.005	13	34
		1.0	0.44	–	0.022	–	0.003	16	46
		2.2	0.5	–	0.022	–	0.002	18	55
	1.0	1.0	1.0	–	0.016	–	0.003	14	43
		2.2	1.0	–	0.016	–	0.002	17	51
		3.3	1.1	–	0.015	–	0.001	17	60
90	0.22	0.22	0.3	–	0.046	–	0.01	27	37
		0.47	0.36	–	0.04	–	0.006	36	54
		1.0	0.4	–	0.038	–	0.003	39	63
	0.47	0.47	0.9	–	0.027	–	0.0045	29	61
		1.0	1.0	–	0.023	–	0.003	35	82
		2.2	1.1	–	0.022	–	0.002	38	96
	1.0	1.0	1.9	–	0.02	–	0.0025	30	77
		2.2	2.0	–	0.02	–	0.002	35	98
		3.3	2.2	–	0.018	–	0.001	37	114
135	0.22	0.22	0.4	–	0.052	–	0.011	44	46
		0.47	0.49	–	0.037	–	0.005	55	71
		1.0	0.52	–	0.034	–	0.003	60	83
	0.47	0.47	1.1	–	0.029	–	0.0045	45	77
		1.0	1.3	–	0.023	–	0.003	53	106
		2.2	1.4	–	0.022	–	0.002	59	122
	1.0	1.0	2.3	–	0.021	–	0.0025	45	104
		2.2	2.5	–	0.019	–	0.0015	53	136
		3.3	2.9	–	0.016	–	0.001	56	163

GRUPPO "N"

Valvole
3AU6
4AU6
6AU6
6SH7
12AU6
12SH7

Ebb	Rp	Rg	Rg2	Rk	Cg2	Ck	C	Eo	V.G.
90	0.1	0.1	0.07	1800	0.11	9.0	0.021	25	52
		0.22	0.09	2100	0.1	8.2	0.012	32	72
		0.47	0.096	2100	0.1	8.0	0.0065	37	88
	0.22	0.22	0.25	3100	0.08	6.2	0.009	25	72
		0.47	0.26	3200	0.078	5.8	0.0055	32	99
		1.0	0.35	3700	0.085	5.1	0.003	34	125
	0.47	0.47	0.75	6300	0.042	3.4	0.0035	27	102
		1.0	0.75	6500	0.042	3.3	0.0027	32	126
		2.2	0.8	6700	0.04	3.2	0.0018	36	152
180	0.1	0.1	0.12	800	0.15	14.1	0.021	57	74
		0.22	0.15	900	0.126	14.0	0.012	82	116
		0.47	0.19	1000	0.1	12.5	0.006	81	141
	0.22	0.22	0.38	1500	0.09	9.6	0.009	59	130
		0.47	0.43	1700	0.08	8.7	0.005	67	171
		1.0	0.6	1900	0.066	8.1	0.003	71	200
	0.47	0.47	0.9	3100	0.06	5.7	0.0045	54	172
		1.0	1.0	3400	0.05	5.4	0.0028	65	232
		2.2	1.1	3600	0.04	3.6	0.0019	74	272
300	0.1	0.1	0.2	500	0.13	18.0	0.019	76	109
		0.22	0.24	600	0.11	16.4	0.011	103	145
		0.47	0.26	700	0.11	15.3	0.006	129	168
	0.22	0.22	0.42	1000	0.1	12.4	0.009	92	164
		0.47	0.5	1000	0.098	12.0	0.007	108	230
		1.0	0.55	1100	0.09	11.0	0.003	122	262
	0.47	0.47	1.0	1800	0.075	8.0	0.0045	94	248
		1.0	1.1	1900	0.065	7.6	0.0028	105	318
		2.2	1.2	2100	0.06	7.3	0.0018	122	371

Ebb	Rp	Rg	Rg2	Rk	Cg2	Ck	C	Eo	V.G.
90	0.1	0.1	0.35	1700	0.044	4.6	0.020	13	29
		0.22			0.046	4.5	0.012	17	39
		0.47			0.047	4.4	0.006	20	47
	0.22	0.22	0.80	3000	0.034	3.2	0.010	15	43
		0.47			0.035	3.1	0.005	21	59
		1.0			0.036	3.0	0.003	24	67
	0.47	0.47	1.9	7000	0.021	1.8	0.005	21	59
		1.0			0.022	1.7	0.003	25	75
		2.2			0.023	1.7	0.002	28	87
180	0.1	0.1	0.35	700	0.060	7.4	0.020	24	39
		0.22			0.062	7.3	0.012	28	56
		0.47			0.064	7.2	0.006	33	65
	0.22	0.22	0.80	1200	0.045	5.5	0.010	24	65
		0.47			0.046	5.3	0.005	31	87
		1.0			0.048	5.2	0.003	34	101
	0.47	0.47	1.9	2500	0.033	3.5	0.005	27	98
		1.0			0.034	3.4	0.003	32	122
		2.2			0.035	3.3	0.002	37	140
300	0.1	0.1	0.35	300	0.075	10.8	0.020	25	51
		0.22			0.077	10.6	0.012	32	68
		0.47			0.080	10.5	0.006	35	83
	0.22	0.22	0.80	600	0.056	7.9	0.010	28	81
		0.47			0.057	7.5	0.005	37	109
		1.0			0.058	7.4	0.003	41	123
	0.47	0.47	1.3	1200	0.044	5.3	0.005	34	125
		1.0			0.046	5.2	0.003	42	152
		2.2			0.047	5.1	0.002	48	174

Guadagno di tensione misurato con uscita di 1 volt eff., e con polarizzazione di 1 volt sulla griglia controllo.

Valvola
5879 *

GRUPPO "O"

GRUPPO "P"

Valvole
3BC5 ■
3CB6 ■
3CF6 ■
4BC5 ■
4CB6 ■
6AG5 ■
6BC5 ■
6CB6 ■
6CB6-A ■
6CF6 ■

E_{bb}	R_p	R_g	R_{g2}	R_k	C_{g2}	C_k	C	E_o	V.G.
90	0.22	0.22	0.67	1800	0.074	8.1	0.0096	11	143
		0.47	0.77	2000	0.068	7.6	0.0068	11	200
		1.0	0.8	1900	0.074	8.2	0.0055	11	241
	0.47	0.47	2.7	2000	0.049	7.2	0.005	12	250
		1.0	1.8	2900	0.060	6.3	0.0046	11	328
		2.2	2.1	2900	0.055	6.0	0.0041	11	435
	1.0	1.0	5.0	3900	0.034	4.4	0.0031	12	252
		2.2	5.0	4500	0.032	3.9	0.0031	11	345
		4.7	5.0	4700	0.033	3.9	0.0038	11	478
180	0.22	0.22	0.17	4000	0.087	6.8	0.011	15	128
		0.47	0.33	4400	0.058	6.2	0.0064	16	200
		1.0	0.43	4000	0.056	6.5	0.0052	16	251
	0.47	0.47	1.2	9000	0.028	3.2	0.0045	14	188
		1.0	1.2	8700	0.030	3.4	0.004	15	227
		2.2	2.3	10000	0.022	2.7	0.0035	15	222
	1.0	1.0	5.3	14000	0.016	1.9	0.0026	14	158
		2.2	5.7	15000	0.016	1.9	0.003	16	222
		4.7	5.9	17000	0.014	1.73	0.003	14	212
300	0.22	0.22	0.47	4000	0.057	6.9	0.0085	15	175
		0.47	0.47	5500	0.048	5.7	0.0063	15	200
		1.0	0.57	7000	0.041	4.8	0.005	15	200
	0.47	0.47	0.6	8000	0.042	4.3	0.0047	15	208
		1.0	0.6	8500	0.042	4.3	0.004	15	278
		2.2	0.63	9700	0.040	4.1	0.0042	16	303
	1.0	1.0	0.63	30000	0.021	1.5	0.0028	14	110
		2.2	0.73	35000	0.018	1.3	0.0027	15	114
		4.7	0.73	37000	0.016	1.2	0.003	15	131

■ Guadagno di tensione misurato con uscita di 2 volt eff.

GRUPPO "Q"

Valvola 7199

E_{bb}	R_p	R_g	R_{g2}	R_k	C_{g2}	C_k	C	E_o	V.G.
90	0.22	0.22	0.27	3300	0.058	4.2	0.0094	11	63
		0.47	0.36	4300	0.08	5.8	0.011	15	72
		1.0	0.4	5000	0.042	3.2	0.0048	17	83
	0.47	0.47	1.1	6000	0.034	2.7	0.0045	13	96
		1.0	1.8	4000	0.036	3.6	0 0037	15	140
		2.2	2.1	7000	0.023	2.2	0.0035	15	137
	1.0	1.0	3.0	10000	0.019	1.7	0.0029	14	112
		2.2	4.0	12000	0.016	1.5	0.0029	15	121
		4.7	4.0	17000	0.013	1.14	0.0038	15	116
180	0.22	0.22	0.3	3100	0.075	5.3	0.0102	16	71
		0.47	0.37	3400	0.058	4.7	0.0065	16	96
		1.0	0.22	3700	0.087	5.0	0.0055	18	81
	0.47	0.47	0.4	6000	0.035	2.8	0.0059	16	70
		1.0	0.6	4800	0.055	3.1	0.0041	17	100
		2.2	1.1	13000	0.0115	0.89	0.0017	17	80
	1.0	1.0	1.5	13000	0.031	1.54	0.0036	16	69
		2.2	1.8	15000	0.021	1.2	0.0029	19	85
		4.7	2.1	15000	0.018	1.24	0.0033	17	100
300	0.22	0.22	0.32	1400	0.138	9.7	0.0116	17	96
		0.47	0.32	3500	0.064	5.0	0.0065	17	96
		1.0	0.37	4000	0.053	4.5	0.0075	17	101
	0.47	0.47	0.42	4700	0.08	3.9	0.0058	18	71
		1.0	0.5	7400	0.058	2.6	0.0046	17	63
		2.2	0.49	8500	0.051	2.2	0.004	16	67
	1.0	1.0	1.1	11000	0.04	1.73	0.0033	17	60
		2.2	1.0	13000	0.039	1.55	0.0036	17	57
		4.7	1.0	14000	0.038	1.43	0.004	16	55

è
uscito il nuovo fascicolo
di
"RADIO e TELEVISIONE"

E' — come sempre — un numero di alto interesse per il suo ricco contenuto. Vi troverete, tra l'altro:

— Un articolo sulla registrazione magnetica, particolarmente dedicato alle **misure sul rendimento dei registratori,** un argomento sul quale non è facile trovare letteratura tecnica in italiano.

— Un articolo dedicato ad un esame delle **caratteristiche** e delle **principali applicazioni dei transistori,** con particolare riguardo al progetto dei radioricevitori. L'Autore — ingegnere, dirigente presso un grande complesso industriale specializzato nel ramo — tratta con vera competenza e praticità dei problemi e delle soluzioni relative.

— Agli impulsi si fa sovente ricorso nelle apparecchiature che riguardano le applicazioni dell'elettronica all'industria: un chiaro scritto su questo soggetto vi informa sui **circuiti generatori di impulsi.**

— Ai tecnici di Laboratorio interesserà certamente il **« tracciatore di curve » per semiconduttori** (diodi e transistori) che costituisce oggetto di un articolo tecnico descrittivo, con dati relativi alla realizzazione.

— **« Fotomoltiplicatori e scintillatori per rivelazioni di radiazioni nucleari »** è il titolo di un altro articolo contenuto in questo fascicolo. In tale articolo si esaminano le soluzioni più recenti e razionali adottate per pervenire ad apparecchiature semplici e di estremo rendimento.

— Infine, un argomento mai trattato in Italia, con un'analisi tecnico analitica così completa: **la termoelettricità.** Sono esposti, oltre che i principî, anche le più recenti e convenienti applicazioni, e i criteri di progetto di realizzazioni pratiche. E' assai opportuno seguire oggi il rapido evolversi di questa tecnica che è destinata a rivoluzionare non poche branche produttive basate su altri sistemi tradizionali.

Completano il fascicolo le abituali rubriche, e cioè un notiziario relativo ad avvenimenti riguardanti la tecnica elettronica, da tutto il mondo; una recensione di libri ed opuscoli; gli avvisi gratuiti, a disposizione indistintamente di tutti i lettori; un esame di apparecchiature del commercio; un breve riassunto di importanti articoli di riviste straniere, ecc. ecc.

Abbonamento per 12 Numeri. . . . . lire 3.060.
Per gli abbonati al "Corso di Radiotecnica" . . . . solo lire 2.754.

Abbonamento: "RADIO e TELEVISIONE" - via dei Pellegrini N. 8/4, conto corrente postale: 3/4545 - Milano

Una copia, alle edicole, lire 300

Prenotatela presso il vostro giornalaio.

Comunicategli che il servizio di distribuzione per tutta l'Italia è affidato alla spett. Diffusione Milanese - Via Soperga 57 - Milano.

Questo fascicolo può essere comunque anche il primo di un vostro abbonamento.

L'abbonamento non ha riferimento all'anno solare e vi da sempre diritto a ricevere 12 Numeri: inoltre, vi invieremo 4 fascicoli in omaggio, da voi scelti tra quelli disponibili, anteriori al N. 96.

Se non disponete del N. 97 potete farlo includere nell'abbonamento.

Mantenetevi aggiornati con la tecnica radio-TV leggendo assiduamente

« RADIO e TELEVISIONE »

Anche se possedete già dei fascicoli del « Corso di RADIOTECNICA »

VI POTETE ABBONARE

Calcolando un importo di lire 120 (centoventi) per ogni fascicolo in vostro possesso, detraete l'ammontare dalla quota di abbonamento. **Inviando la differenza** precisate i singoli numeri dei fascicoli esclusi.
Se vi interessano invece fascicoli arretrati affrettatevi a richiederli prima che qualche numero risulti esaurito. Attualmente possiamo spedire i fascicoli sinora pubblicati, **a lire 150 cadauno** in luogo di lire 300 (prezzo normale degli arretrati).

Versamenti sul conto corrente postale N. 3/41.203 - Milano.

Sono pronte le copertine per la rilegatura del I° volume.
Dettagliate descrizioni delle stesse e modalità per richiederle sul N. 22.

corso di RADIOTECNICA

pubblicazione settimanale - 25 febb. - 4 marzo 1961 - un fascicolo lire 150 22° numero

corso di
RADIOTECNICA

settimanale a carattere culturale

Direzione, Amministrazione, Pubblicità:
Via dei Pellegrini 8/4 - Telef. 593.478
MILANO

Ogni fascicolo — contenente 3 lezioni — costa lire 150, acquistato alle edicole.

Se l'edicola risulta sprovvista, o si teme di rimanere privi di qualche numero, si chieda invio settimanale direttamente al proprio domicilio a mezzo abbonamento.

Il versamento per ricevere i 52 fascicoli costituenti l'intero Corso è di lire 6500 + I.G.E. = lire 6630. A mezzo vaglia postale, assegno bancario, o versamento sul conto corr. postale 3/41.203 del « Corso di RADIOTECNICA » - Via dei Pellegrini 8-4 - Milano.
In ogni caso, scrivere in modo molto chiaro e completo il proprio indirizzo.

L'abbonamento può essere effettuato in qualsiasi momento; si intende comprensivo delle lezioni pubblicate e dà diritto a ricevere tali lezioni, che saranno inviate con unica spedizione.

Estero: abbonamento al Corso, Lit. 8.500. ($ 15). Numeri singoli Lit. 300 ($ 0,50).

Per i cambi di indirizzo durante lo svolgimento del Corso, unire lire 100, citando sempre il vecchio indirizzo.

Fascicoli singoli arretrati — se disponibili — possono essere ordinati a lire 300 cadauno.
Non si spedisce contrassegno.

Distribuzione alle edicole di tutta Italia: Diffus. Milanese . Via Soperga, 57 - Milano.

Direttore responsabile: Giulio Borgogno.

Autorizzaz. N. 5357 - Tribunale di Milano.

Stampa: Intergrafica S.r.l. - Cologno Monzese.

La Direzione non rivende materiale radio; essa può comunicare, se richiesta, indirizzi di Fabbricanti, Importatori, Grossisti ecc. in grado di fornire il necessario ed ai quali il lettore può rivolgersi direttamente.

Alla corrispondenza con richiesta di informazioni ecc. si prega allegare sempre il **francobollo per la risposta.**

Parte del testo e delle illustrazioni è dovuta alla collaborazione del Bureau of Naval Personnel, nonchè al Dept. of the Army and the Air Force - U.S.A.

A chi può essere utile questo Corso? Anzitutto — stante la sua impostazione — il Corso, basato sull'esposizione in forma a tutti accessibile, della radiotecnica, dai suoi elementi basilari alla evoluzione più recente, rappresenta la forma ideale per tutti coloro che intendono dedicarsi all'elettronica, sia come forma ricreativa sia — soprattutto — per l'acquisizione di una professione specializzata che possa procurare loro una posizione di privilegio in seno alla società odierna.

Anno per anno, la nostra civiltà si indirizza sempre più verso questa meravigliosa, si potrebbe dire fascinosa, elettronica, che nel modo più evidente consente sviluppi impensati, progressi grandiosi e una rapida evoluzione di tutti gli altri rami dello scibile che essa tocca e influenza.

L'industria, tutta l'industria, nel senso più ampio, da quella elettrotecnica a quella meccanica, alla metallurgica, alla chimica ecc., con i suoi laboratori di ricerca e le sue fabbriche richiede, e richiederà sempre più, con un ritmo rapidamente crescente, tecnici specializzati con conoscenza dell'elettronica, tecnici specificatamente elettronici e persino operai e impiegati di ogni ordine e categoria con cognizioni di elettronica.

Si può dire che anche le branche commerciali, quelle dei trasporti e persino quelle amministrative con le recenti introduzioni delle calcolatrici, abbisognano di personale che conosca i principi dell'elettronica, le macchine relative, il loro pieno sfruttamento, la eventuale riparazione ecc. e, quanto più in modo completo, quanto meglio.

Nasce, da una tale situazione, una logica conseguenza: per la scelta di una professione o di un mestiere, per un miglioramento della propria posizione sociale, per l'intrapresa di una libera attività o anche per la sola acquisizione di cognizioni che indubbiamente verranno oltremodo utili, è quanto mai opportuno riflettere se non sia conveniente dedicare un po' di tempo allo studio di questa scienza che ha tra l'altro il pregio di rendersi immediatamente attraente, concreta, accessibile e foriera di moltissime soddisfazioni.

A questo scopo appunto, e con questi intenti, è stato redatto questo Corso.

Non mancano invero altri corsi (specie per corrispondenza) o scuole di radiotecnica, nè mancano (sebbene siano in numero del tutto inadeguato) scuole statali o pareggiate ma la struttura e l'impostazione che caratterizzano queste 156 lezioni sono alquanto particolari, presentando non pochi vantaggi sulle diverse altre forme di cui si è detto.

Anzitutto vogliamo porre in evidenza **il fattore economico.**

Frequentare regolarmente, durante tutto l'anno, una scuola è certo il modo più logico — anche se non il più rapido — per apprendere ma, tralasciando il fatto che rarissimi sono gli Istituti di radiotecnica, è a tutti possibile dedicarsi esclusivamente, e per l'intero anno, allo studio? Noi riteniamo che chi può farlo costituisca oggi assai più l'eccezione che la regola. Ciò significa infatti poter disporre liberamente del proprio tempo senza avere la necessità di un contemporaneo guadagno: il nostro Corso permette a chiunque di studiare a casa propria, nelle ore libere dal lavoro, senza abbandonare o trascurare quest'ultimo. Ciò caratterizza invero anche altri corsi, ma il vantaggio economico diviene notevole ed evidentissimo se si considera che di fronte all'esborso, anche se rateale, di quasi 80.000 lire che i corsi per corrispondenza richiedono, seguendo il nostro Corso la spesa in un anno risulta di poco più di 7500 lire (150 lire alla settimana presso un'edicola) o di 6630 lire totali, con recapito postale, settimanale, delle lezioni a domicilio.

E' superfluo dire che la Modulazione di Frequenza, i transistori, i circuiti stampati, la trasmissione, il telecomando ecc. sono argomenti integrali del Corso e non costituiscono motivo di corsi speciali, aggiunti o particolari.

Le lezioni di questo Corso — a differenza di molte altre — non sono stampate con sistemi di dispensa, a ciclostile, o con sistemi più o meno analoghi, derivanti cioè da un originale battuto a macchina da scrivere; esse sono stampate in uno stabilimento grafico, con chiari caratteri tipografici da cui deriva una assai più agevole lettura e — fattore certamente di non secondaria importanza — un contenuto molto più ampio, corrispondendo una pagina a stampa a tre o quattro pagine di quelle citate. Il lettore avrà, alla fine del Corso, un volume di ben 1248 pagine di grande formato!

Chiunque, indipendentemente dall'età, dalla professione e dalle scuole compiute **può seguire il Corso.** Alle esposizioni teoriche si abbinano numerose, attraenti, istruttive ed utili descrizioni che consentono la realizzazione di ricevitori, amplificatori, strumenti vari e persino di trasmittenti su onde corte.

A questo proposito è sintomatico il fatto che la Direzione non vuole assolutamente assumere la fisionomia di un fornitore o commerciante di materiale radio, rivendendo agli allievi le parti necessarie. Il materiale occorrente l'interessato può acquistarlo dove e come meglio crede e, assai spesso anzi, già ne dispone. Viene così evitato l'acquisto forzoso, caratteristico più o meno di tutti gli altri corsi.

Anche chi è già radiotecnico, anche chi ha seguito o segue altri corsi troverà il massimo tornaconto in questo completo ed aggiornato lavoro. Molte nozioni, è logico, saranno note, altre un po' meno e sarà utile rinfrescarle, e il tutto infine costituirà un manuale di consultazione, prezioso tanto per la teoria esposta quanto per i numerosi schemi, per le tabelle, per i grafici, gli elenchi, i dati, il vocabolario dei termini ecc.

Concludendo, si può affermare che questo **Corso di Radiotecnica** oltre che come insegnamento graduale si presenta come **enciclopedia e rivista assieme** ciò che permette di formare — con modestissima spesa — **il più completo, ricco, utile e pratico volume di radiotecnica di cui sia dato oggigiorno disporre.**

VALVOLE MULTIPLE e SPECIALI

Fino ad ora, ci siamo occupati di valvole termoioniche realizzate in versioni relativamente semplici. Abbiamo visto cioè diodi, triodi, tetrodi e pentodi, sia ad accensione diretta che ad accensione indiretta.

Questi tipi di valvole non sono però gli unici esistenti. La tecnica elettronica — infatti — con i suoi sviluppi progressivi, ha portato alla realizzazione di valvole diverse e più complesse, delle quali diremo nella presente lezione.

Abbiamo visto, oltre alla rilevante influenza della griglia controllo, come la presenza di altre griglie influisca sul comportamento della valvola a seconda della tensione relativa ad esse applicate. Il principio è stato ulteriormente sfruttato, creando perciò valvole più complesse del pentodo.

Oltre a ciò, la tecnica moderna tende sempre più a ridurre il costo delle apparecchiature, ed a diminuirne le dimensioni. In base a questi princìpi si è pervenuti all'unione di più valvole, creando le valvole multiple. Esse non sono altro che valvole a caratteristiche analoghe a quelle a noi note, riunite in un unico bulbo di vetro. Si possono avere due o più unità, adatte ad assolvere compiti tra loro complementari o anche completamente indipendenti.

Le valvole multiple offrono anzitutto il vantaggio di avere un unico zoccolo per il collegamento esterno. I piedini cui fanno capo i vari elettrodi — ovviamente in numero maggiore che non per una valvola semplice — sono disposti in modo da consentire collegamenti brevissimi, ciò che evita spesso accoppiamenti indesiderati con altri componenti dell'apparecchio. In una parola, si tratta dello sfruttamento di princìpi in seguito ai quali l'apparecchiatura realizzata si presenta più compatta, e più razionale.

Esistono poi altri tipi di valvole che possiamo includere in questo esame che ha per oggetto le valvole speciali: sono quelli adatti al funzionamento su frequenze elevatissime. Altri tipi ancora, sono quelli il cui compito consiste nel fornire indicazioni ottiche sul comportamento di alcuni circuiti (ad esempio, il classico « occhio magico »).

Per ultime, citiamo le valvole a gas, che hanno un campo di applicazione rilevante, specialmente nel ramo dell'elettronica industriale.

Analizziamo ora i tipi ai quali abbiamo fatto cenno.

VALVOLE MULTIGRIGLIA

La valvola più complessa fino ad ora da noi considerata è il pentodo, che — come sappiamo — è provvisto di cinque elettrodi, e precisamente un catodo, tre griglie, ed una placca.

Tutte le valvole provviste di un numero di griglie superiore a tre possono essere definite *valvole multigriglia.* Ad esempio, se si aggiunge una griglia al pentodo, si ottiene *l'esodo*, il cui schema elettrico è illustrato alla **figura 1.** Questo tipo di valvola non ha attualmente applicazioni pratiche.

L'aggiunta di una quinta griglia trasforma l'esodo in *eptodo*, illustrato alla **figura 2,** che viene invece spesso adottato nelle apparechiature elettroniche.
Come vedremo allorchè ci occuperemo del ricevitore a circuito detto supereterodina, l'eptodo è una delle valvole mediante le quali si può facilmente convertire un segnale di determinata frequenza in un altro avente una frequenza diversa, lasciandone invariate le caratteristiche di modulazione.

L'eptodo, valvola pentagriglia, viene a volte usato anche nei circuiti a Bassa Frequenza per i dispositivi di compressione e di espansione del segnale, impiegati — come vedremo — negli impianti di registrazione e di riproduzione del suono.

Se all'eptodo si aggiunge una sesta griglia, si ottiene *l'ottodo*, illustrato alla **figura 3.** Anche questa valvola viene comunemente impiegata per la conversione di frequenza nei ricevitori supereterodina.

Ricordiamo qui che, per facilitare l'indicazione di una griglia, allorchè si parla o si descrive un circuito, le griglie vengono numerate con numeri progressivi a partire da quella più prossima al catodo. Così abbiamo — ad esempio in un pentodo — come prima griglia (G_1) la griglia pilota o di controllo, come seconda griglia (G_2) la griglia schermo, e come terza griglia (G_3) il soppressore. Le funzioni ora indicate non sono però tassative, in quanto la terza griglia di un pentodo può — alla occorrenza — essere usata diversamente, sempre che si tratti di una valvola in cui essa non è connessa al catodo internamente al bulbo; tuttavia essa sarà sempre indicata come G_3.

Così in un ottodo abbiamo le griglie 1, 2, 3, 4, 5, e 6, alle quali non è possibile attribuire una funzione fissa e determinata, come nel caso del pentodo; la funzione varia a seconda delle caratteristiche del circuito in cui la valvola deve essere impiegata.

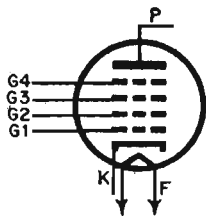



Fig. 1 - Simbolo schematico dell'esodo ad accensione indiretta.

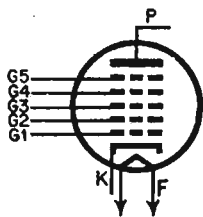



Fig. 2 - Simbolo schematico dell'eptodo ad accensione indiretta.

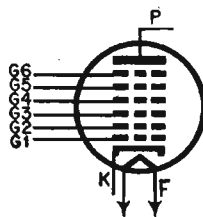



Fig. 3 - Simbolo schematico dell'ottodo ad accensione indiretta.

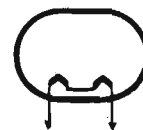



Fig. 4 A - Collegamento in serie dei due filamenti in una valvola multipla.

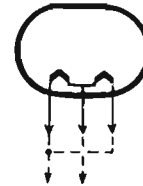



Fig. 4 B - Collegamento in parallelo dei due filamenti in una valvola multipla.

Le applicazioni di queste valvole verrano elaborate di volta in volta, e il lettore avrà diverse occasioni di familiarizzare con esse.

VALVOLE MULTIPLE

L'esempio più semplice di abbinamento di valvole in un unico bulbo, già noto al lettore, è il *doppio diodo*, usato, come abbiamo visto, nei circuiti di rettificazione a due semionde. Questo tipo di valvola viene realizzato anche con caratteristiche totalmente diverse, tali da caratterizzarne il funzionamento con tensione e corrente anodica notevolmente inferiori, e con capacità interelettrodica trascurabile. In tal caso, esso serve per impieghi con radiofrequenza, come ad esempio per la rivelazione di segnali a modulazione di frequenza, e per altri scopi che in seguito conosceremo.

Prima di elencare i principali tipi di valvole multiple, è bene accennare alla soluzione in esse adottata per quanto riguarda il collegamento dei relativi filamenti. Come si nota osservando la **figura 4-A**, è possibile avere una valvola a due filamenti, aventi caratteristiche eguali tra loro, conessi in serie, atti a riscaldare due diversi catodi.

La tensione di accensione viene applicata così tra due soli piedini, nel modo consueto. In figura 4-**B** è illustrato invece il caso di due filamenti che, pur sempre in serie — e assolutamente eguali fra loro sia come tensione di accensione che come corrente — come è visibile nella figura, possono esere collegati sia in serie che in parallelo. Nel primo caso, il piedino facente capo al punto in comune tra i due filamenti resta inutilizzato. Se, ad esempio, essi necessitano entrambi di una tensione di 6 volt e di una corrente di 100 milliampére, si applicherà una tensione di 12 volt (2 × 6), e la corrente resterà di 100 milliampére. Viceversa, se le due estremità vengono unite, esse costituiscono « uno » dei terminali, mentre il secondo sarà il piedino comune ad entrambi i filamenti. In tal caso i filamenti vengono a trovarsi in parallelo, per cui — per una coretta accensione — occorrerà una tensione di 6 volt, ed una corrente doppia, ossia 200 milliampére.

Agli effetti del catodo, per le valvole multiple esso può essere unico ed in comune per le unità contenute nel bulbo, oppure possono esservi due o più catodi separati. Nel primo caso le griglie delle varie sezioni potranno avere il medesimo potenziale se polarizzate come indicato nella **figura 5-A,** oppure potenziali diversi se polarizzate come indicato nella figura 5-**B.** Ovviamente, se i catodi sono separati, la polarizzazione è indipendente.

Le valvole multiple vengono realizzate in un numero di tipi talmente elevato che non è possibile praticamente elencarle tutte. La **figura 6** ne illustra gli esempi più comuni. In essa si nota che in alcuni casi (vedi ad esempio il triodo-esodo), tra le due unità si hanno uno o più elettrodi in comune, collegati interamente alla valvola.

Attualmente sono in corso di studio valvole multiple contenenti tre o anche quattro unità separate, il che — ripetiamo — consente notevoli economie di costo e di spazio.

I vari tipi di valvole multiple verranno analizzati in pratica in occasione dello studio dei circuiti in cui se ne fa uso. Il lettore tenga presente, comunque, che ciò non costituisce difficoltà, in quanto, agli effetti pratici, tutto funziona e può essere considerato come se le valvole fossero in bulbi separati, e consistessero in unità a sè stanti.

VALVOLE a GAS

Durante la fabbricazione delle valvole ad alto vuoto, è necessario asportare dall'interno del bulbo la maggior parte possibile di aria. Dal momento che il vuoto è un buon isolante, è possibile far funzionare dette valvole con una notevole d.d.p. tra placca e catodo, senza pericolo che si verifichino scariche all'interno. Tuttavia, un inconveniente della valvola ad alto vuoto in se stessa è rappresentato dal fatto che la corrente di placca è debole in quanto il catodo è l'unica sorgente di elettroni; nel caso in cui si abbisogna di correnti notevoli, è necessario ricorrere all'uso di valvole contenenti gas.

Una valvola a gas non è altro che una comune valvola nella quale è stato introdotto un piccolo quantitativo di gas, che generalmente è neon, o argo, o vapore di mercurio. Dal momento che detto gas è contenuto a bassissima pressione, la valvola viene ad essere a « basso vuoto ». La differenza essenziale dalla valvola normale consiste nel fatto che, mentre nella valvola ad alto vuoto la griglia ha un controllo assoluto sulla corrente che percorre la valvola, nel tipo a gas detto con-

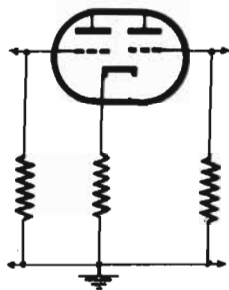



Fig. 5 A — In questo caso, lè griglie dei due triodi hanno la medesima tensione di polarizzazione.

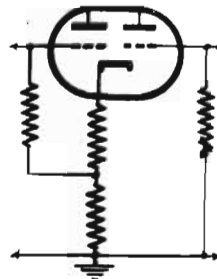



Fig. 5 B — Mediante due resistenze in serie al catodo, è possibile polarizzare le griglie diversamente.

trollo viene a mancare non appena il gas, ionizzato, diventa conduttore.

La **figura 7** illustra la rappresentazione schematica di alcuni tipi di valvole a gas. La presenza di questo ultimo viene di solito rappresentata dal « puntino » contenuto nell'interno del circolo di contorno.

La conduzione elettrica nelle valvole a gas

Gli elettroni che si spostano dal catodo alla placca, nelle valvole a gas urtano contro le molecole del gas stesso; allorchè l'urto avviene con una velocità sufficiente, le molecole colpite perdono uno o più elettroni. Questi si uniscono alla normale corrente elettronica provocando — a loro volta — ulteriori collisioni, e quindi un aumento progressivo della corrente stessa. Le molecole che hanno perso gli elettroni diventano ioni positivi; il processo che determina la perdita di elettroni viene denominato **ionizzazione.** Una valvola a gas ionizzata, presenta perciò, internamente, molecole, ioni ed elettroni.

La corrente elettronica, mentre viene considerevolmente aumentata grazie al processo di ionizzazione, si dirige velocemente verso la placca. Gli ioni positivi, più pesanti, si spostano, molto più lentamente, verso il catodo (negativo); non appena giungono in prossimità di quest'utimo, neutralizzano la carica spaziale negativa, col risultato che il catodo viene a trovarsi automaticamente in condizioni di poter emettere elettroni con maggiore facilità: ciò determina il raggiungimento della corrente di saturazione. In altre parole, non appena il gas è ionizzato, il catodo emètte tutti gli elettroni che può emettere, e tutti possono raggiungere la placca. La resistenza di placca, di conseguenza, avrà un valore molto basso.

Potenziale di ionizzazione

Per poter staccare gli elettroni da una molecola di gas, è necessario che gli elettroni di urto colpiscano la stessa con una velocità considerevole. Il potenziale tra placca e catodo accelera gli elettroni sino alla velocità necessaria. Questo potenziale deve raggiungere un certo livello prima che la ionizzazione abbia inizio. Il potenziale minimo necessario viene denominato *potenziale di ionizzazione* o punto di innesco. Non appena la ionizzazione ha luogo, si ottiene un flusso notevole di corrente con tensione relativamente bassa.

Potenziale di estinzione

La ionizzazione, una volta iniziata, (essa causa una specie di incandescenza del gas) persiste anche se il potenziale viene poi ridotto al di sotto del valore di innesco. Naturalmente, la ionizzazione cessa e la corrente si interrompe se detto potenziale viene ulteriormente ridotto al di sotto di un dato limite. Questo limite è noto come *potenziale di estinzione.* Grazie ad esso, è possibile usare una valvola a gas come interruttore elettronico. Infatti, alcuni valori del potenziale anodico permettono il passaggio della corrente anodica, esattamente come avviene quando si chiude il circuito di un interruttore, mentre altri lo impediscono così come se l'interruttore fosse aperto. In altre parole, una valvola a gas ha una resistenza di placca di valore molto basso quando la valvola conduce; ne deriva che tale tipo di valvola può essere considerato, in pratica, un buon interruttore.

Tensione inversa

In qualsiasi valvola, di norma, la corrente può scorrere in una sola direzione, e, precisamente, dal catodo alla placca. Abbiamo visto che quando la valvola viene usata come rettificatrice, sull'anodo è presente una tensione a c.a., per cui quest'ultimo è a volte positivo e a volte negativo rispetto al catodo. Nel primo caso la valvola conduce corrente, e, nel secondo caso, il passaggio della corrente viene impedito.

Nel caso della valvola a gas, è necessario evitare sempre di applicare alla placca una tensione alternata eccessiva. Il gas a bassa pressione non è un buon isolante quanto il vuoto: una tensione troppo alta può ionizzare il gas e determinare un passaggio di corrente anche se la placca è negativa rispetto al catodo. Ciò avviene quando gli ioni positivi residui presenti all'interno della valvola, vengono attratti dalla placca negativa, urtando contro le molecole del gas e determinando la formazione di altri ioni. Se la tensione alternata è eccessiva, è perciò possibile il passaggio di una forte corrente dalla placca al catodo.

La massima tensione di picco che è possibile applicare alla placca di una valvola a gas prima che si produca la corrente inversa, è detta *massima tensione in-*

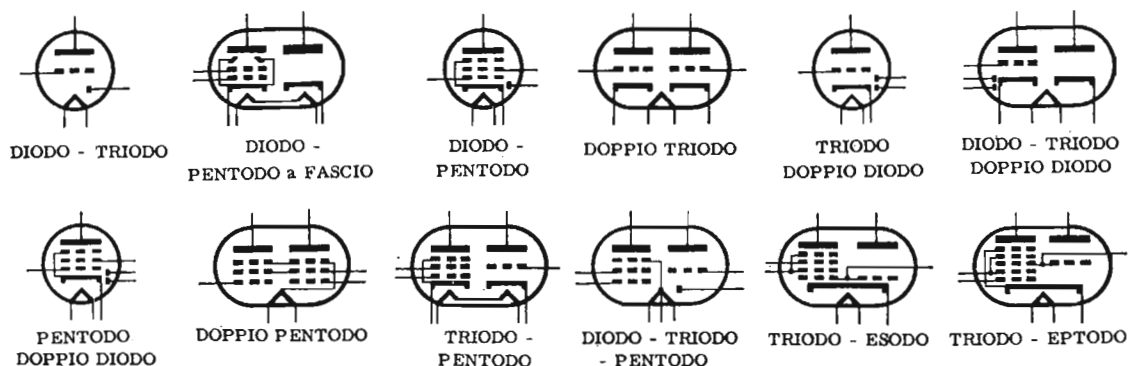



Fig. 6 — Simboli schematici delle valvole multiple di uso più comune. Le combinazioni sono però molto più numerose. Come si nota, la denominazione dipende esclusivamente da quella delle unità contenute nel bulbo.

versa, e viene normalmente denunciata dal fabbricante insieme alle altre caratteristiche della valvola. E' importante evitare di applicare tensioni maggiori della massima consentita, specie se si tratta di una valvola rettificatrice a gas, poichè la corrente inversa può danneggiarla irrimediabilmente.

La massima tensione inversa di una valvola diminuisce con l'aumentare della frequenza della tensione alternata applicata. Se la frequenza è alta, gli ioni hanno una disponibilità di tempo minore per ricombinarsi con gli elettroni negli intervalli che sussistono tra i picchi della tensione applicata.

DIODI a GAS

Tipi a catodo freddo

Le classiche lampade al neon, **(figura 8)** sono un esempio di diodi a gas a catodo freddo. Allorchè il catodo e l'anodo hanno la medesima forma e le medesime dimensioni, la lampada può condurre corrente in entrambe le direzioni, in relazione al solo potenziale, in quanto entrambi gli elettrodi sono egualmente buoni emettitori di elettroni. Quando invece uno degli elettrodi ha una superficie notevolmente superiore a quella dell'altro, l'elettrodo di dimensioni maggiori diventa il catodo (in quanto emettitore più attivo); in questo caso la lampada può condurre in una sola direzione.

Dal momento che in queste valvole il catodo non viene riscaldato, la ionizzazione non può avere inizio a causa della emissione di elettroni da parte di quest'ultimo. La ionizzazione viene determinata dalla presenza dei pochi ioni ed elettroni dovuti ai raggi cosmici e ad altri fenomeni di ionizzazione. Poichè si hanno pochi elettroni, il potenziale di innesco è più alto che non nei tipi a catodo caldo. In particolare, la classica lampada al neon è incostante nel suo funzionamento in quanto il potenziale di innesco varia di volta in volta, col variare delle radiazioni presenti, dalla temperatura ambiente, ecc.

La lampada al neon allorchè è attraversata dalla corrente, dà una certa luminescenza, dovuta alla combinazione degli ioni positivi con gli elettroni emessi. Il colore della luce, normalmente rosso-arancione, dipende dal gas o dai gas. La luminescenza si produce soltanto in prossimità del catodo, ossia dell'elettrodo negativo. Tuttavia, se si applica una tensione alternata, la luminescenza si presenta in prossimità di entrambi gli elettrodi, poichè entrambi assumono alternativamente il ruolo di catodo.

Un campo elettromagnetico di onde a radiofrequenza può determinare la ionizzazione di una lampada a gas; perciò, le lampade al neon possono essere usate per rivelare la presenza di campi a radiofrequenza. A tale scopo, è sufficiente fissare la lampada ad un supporto isolante e portarla il più possibile vicino all'antenna irradiante di cui si desidera constatare il funzionamento. Il supporto isolante evita il contatto della mano direttamente col circuito; è importante ricordare che, nei circuiti ad Alta Frequenza con notevole potenza, si hanno spesso anche tensioni anodiche pericolosamente alte.

Un altro uso importante della lampada a gas (di cui ci siamo già occupati a pagina 393), è la regolazione di tensione. Infatti, abbiamo visto che quando un gas è ionizzato, la caduta di tensione tra i due elettrodi della valvola resta costante anche se la corrente che la percorre subisce delle variazioni. Tale tipo di lampada viene usato perciò vantaggiosamente come regolatore di tensione nei circuiti di alimentazione da cui si richiede l'erogazione di una tensione costante.

Tipi a catodo caldo

Un altro tipo di diodo a gas, destinato unicamente all'impiego come rettificatore, è il diodo a catodo caldo, nel quale, generalmente, il gas contenuto è argo o vapore di mercurio.

La **figura 9** illustra un esemplare di questo tipo di valvola. Essa viene generalmente usata negli apparecchi per la ricarica delle batterie, in quanto permette il passaggio di una corrente assai più elevata di quella che è possibile far passare in un comune diodo ad alto vuoto. Analogamente a quest'ultimo, il diodo a gas a catodo caldo può essere utilizzato come rettificatore di una semionda, ed è possibile naturalmente utilizzarne due per la rettificazione di due semionde contemporaneamente.

Nel diodo a catodo caldo la ionizzazione viene aiutata dalla presenza degli elettroni emessi dal filamento o catodo, per cui l'innesco è possibile con potenziali di

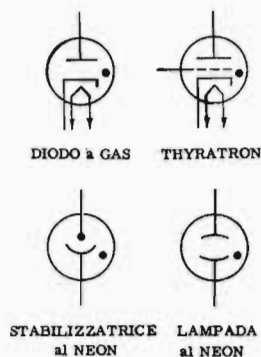



Fig. 7 — Simboli schematici di valvole a gas.

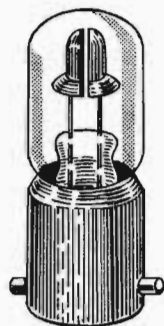



Fig. 8 - Aspetto di una lampada a gas.

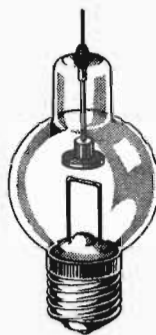



Fig. 9 - Lampada a gas a catodo caldo.

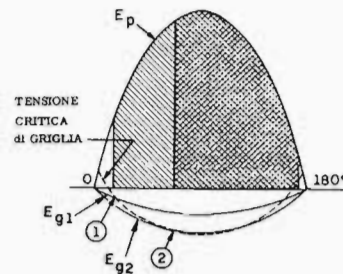



Fig. 10 — Grafico illustrante il rapporto tra la tensione di griglia ed il punto di innesco in un « thyratron ».

placca inferiori a quelli necessari per i diodi a catodo freddo.

Nelle valvole rettificatrici a vapori di mercurio, si trova una piccola quantità di mercurio liquido all'interno del bulbo. Il gas si forma allorchè, a causa della temperatura del catodo, una piccola quantità di mercurio evapora. Il funzionamento non può quindi aver luogo se il mercurio non è evaporato. Per questo motivo è sempre necessario provvedere in primo luogo alla accensione del filamento, lasciando un intervallo di tempo variabile dai 30 ai 60 secondi prima di dare il potenziale alla placca.

TRIODI a GAS

Nei triodi a gas esiste una griglia che può controllare il potenziale di innesco. Tale tipo di valvola prende il nome di « thyratron ». Sappiamo ora, che, nelle valvole a gas, la ionizzazione viene innescata da una debole corrente, la quale ha inizio non appena è raggiunto il potenziale di ionizzazione; nel « thyratron », la griglia posta in prossimità del catodo può controllare l'ammontare di tale corrente di innesco.

Supponiamo che la griglia di un « thyratron » abbia un potenziale negativo superiore a quello necessario per l'interdizione, ossia che manchi completamente la corrente di placca, e supponiamo di ridurre gradatamente tale polarizzazione. Quando la corrente di placca inizia a scorrere, il suo valore raggiunge molto rapidamente quello di saturazione della valvola. Non appena si è manifestata la corrente di placca, la griglia perde la sua funzione di controllo. Essa può allora diventare molto più negativa, anche oltre il punto di interdizione, senza minimamente influenzare detta corrente, per bloccare la quale è invece necessario ridurre la tensione di placca al di sotto del potenziale di estinzione.

Il fenomeno precedentemente descritto è causato dal fatto che, non appena ha inizio la corrente anodica, si producono ioni positivi a causa delle collisioni tra gli elettroni e le molecole del gas. Alcuni di tali ioni vengono attratti dal catodo mentre altri si dirigono verso la griglia. Questi ultimi tendono a rendere la griglia positiva, neutralizzando di conseguenza l'azione del suo potenziale negativo: contemporaneamente, gli ioni attratti dal catodo neutralizzano la carica spaziale. Perciò, una volta iniziata la ionizzazione, non vi è più carica spaziale che limiti la corrente, per cui la griglia non ha più alcun chè da controllare. Nella valvola ha luogo il passaggio del valore massimo della corrente.

I « thyratron » vengono normalmente usati come rettificatori controllati. Alle loro placche perciò viene applicata una tensione alternata: durante la semionda positiva la valvola conduce, mentre durante quella negativa la corrente anodica cessa in quanto il gas non è più ionizzato. Il segnale di griglia controlla il punto di innesco, e quindi la durata del tempo in cui la valvola conduce durante l'alternanza positiva. Il grafico della **figura 10** illustra come differenti potenziali di griglia possano influenzare il punto di innesco di un « thyratron ». Quando la tensione di griglia è minima, (E_{g1}) la valvola innesca al punto 1, il che permette la conduzione di corrente durante la maggior parte del semiperiodo positivo. Quando la polarizzazione viene aumentata, ad esempio fino al valore di E_{g2}, l'innesco non si verifica prima del punto 2.

La **figura 11** mostra la polarizzazione di griglia necessaria per produrre la corrente di innesco in un « thyratron » tipico. I punti a destra della curva rappresentano la fase conduttiva, e quelli a sinistra la fase non conduttiva. Nella figura è inoltre possibile notare il valore della polarizzazione critica, quella cioè col quale inizia la conduzione.

Il « thyratron » usato come relais o come interruttore (« trigger ») si presta a diverse applicazioni. Assai spesso sono stati usati dei « thyratron » per la generazione delle cosiddette oscillazioni « a dente di sega », necessarie, come vedremo in seguito, per il funzionamento degli oscillografi, e « thyratron » vengono adottati nei circuiti di dispositivi elettronici di carattere industriale, La griglia di controllo richiede una quantità minima di energia per provocare l'innesco; per contro, la valvola permette il passaggio di notevoli correnti non appena l'innesco ha avuto luogo.

La **figura 12** illustra lo schema di un generatore di oscillazioni a dente di sega di cui si è detto, una volta molto usato negli oscillografi. In questo caso il « thyratron » è usato come interruttore elettronico. Quando la valvola non conduce, l'interruttore è aperto ed il condensatore si carica. Il tempo di carica è determinato dal valore della resistenza in serie al condensatore: come si vede nello schema, la resistenza è variabile e quindi il tempo può essere prescelto. Non appena vie-

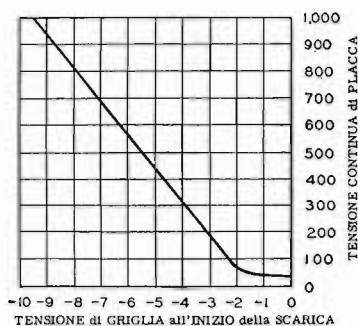



Fig. 11 — Curva caratteristica di un « thyratron » esprimente le relazioni tra le tensioni di griglia e di placca.

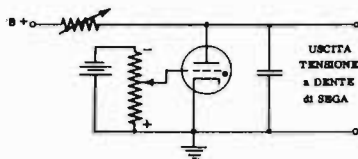



Fig. 12 — Circuito tipico di un « thyratron » usato per la produzione di oscillazioni che — per la loro forma — vengono denominate « a dente di sega ».

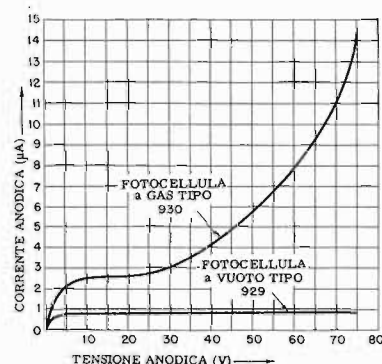



Fig. 13 — Curve caratteristiche di due tipi di cellule. Come si nota, il rendimento del tipo a gas è maggiore.

ne raggiunto il potenziale di innesco della valvola, la valvola conduce, per cui il condensatore si scarica rapidamente attraverso il triodo stesso. Il punto di innesco del « thyratron » è determinato dalla polarizzazione di griglia. Tale tensione di polarizzazione viene ricavata da una sorgente di tensione fissa opposta.

I «thyratron» usati nei complessi di alimentazione di rete (50 Hz), sono normalmente del tipo a vapore di mercurio. Per frequenze più alte, per le quali la ionizzazione deve essere più rapida, si usa generalmente l'elio, l'argo, o il neon, in quanto i loro ioni positivi, essendo più leggeri che non quelli del mercurio, possono spostarsi con maggiore rapidità.

CELLULE FOTOELETTRICHE

Un'altra importante categoria di valvole è quella in cui l'emissione elettronica viene controllata dalla luce che colpisce la valvola stessa. Si tratta dell'applicazione dell'effetto fotoelettrico, in virtù del quale, quando un raggio luminoso colpisce una superficie metallica, vengono liberati da essa degli elettroni. Abbiamo già acennato a pagina 112 ed a pagina 339 a questo interessante fenomeno.

Il numero degli elettroni liberati nell'unità di tempo da una luce avente una determinata lunghezza d'onda, è direttamente proporzionale alla intensità della luce stessa. L'energia sviluppata dalla corrente elettronica è direttamente proporzionale alla frequenza della luce. Esiste un limite inferiore di tale frequenza, al di sotto del quale l'energia che si espleta sulla superficie emittente è insufficente per provocare l'emissione. Le cellule fotoelettriche, analogamente all'occhio umano, non hanno un responso uniforme a tutte le frequenze; per questa ragione l'ammontare dell'emissione per una data quantità di luce è in relazione alla distribuzione della frequenza della luce stessa.

Principi costruttivi

Una cellula fotoelettrica, consiste essenzialmente in due elettrodi contenuti in un bulbo di vetro in cui è stato praticato il vuoto. Uno di essi, è il catodo, che ha il compito di emettere elettroni allorchè viene investito dalla luce; l'altro, al quale viene applicato un potenziale positivo, è l'anodo, ed ha il compito di assorbire gli elettroni emessi dal catodo.

La sensibilità di una fotocellula, è in relazione, come si è detto, alla frequenza, ossia al colore, della luce che la eccita. Esistono vari tipi aventi varie caratteristiche di sensibilità adatte alle diverse applicazioni: alcuni sono particolarmente sensibili alla luce rossa, altri alla luce azzurra, ed altri ancora hanno caratteristiche simili a quelle dell'occhio umano.

La sensibilità è espressa in funzione della frequenza luminosa necessaria per provocare la massima emissione.

La costruzione interna di una cellula fotoelettrica è semplice: il catodo fotosensibile ha generalmente una forma semicilindrica, ed è rivestito con uno strato di cesio metallico ricoperto a sua volta con ossido di cesio, il tutto deposto su di un supporto argentato. L'anodo è costituito da un bastoncino metallico posto al centro (vedi figura 6, pagina 340).

Tipi a gas e fotomoltiplicatori

Se si introduce nel bulbo di vetro di una fotocellula una piccola quantità di gas, questo, grazie alla ionizzazione, aumenta la intensità della corrente elettronica provocata dalla illuminazione del catodo. Le fotocellule di questo tipo hanno una sensibilità maggiore di quelle dei tipi corrispondenti a vuoto, e vengono impiegate spesso per la lettura delle colonne sonore delle pellicole cinematografiche.

Il tipo a vuoto è, tuttavia, meno stabile, e meno delito agli effetti delle eventuali tensioni eccessive, ed ha una resistenza interna più elevata. Gli ioni di gas, per contro, colpendo il catodo, provocano una emissione secondaria apprezzabile, la quale aumenta la sensibilità. Ne consegue che le curve caratteristiche di una fotocellula a vuoto e di una a gas sono notevolmente differenti.

La **figura 13** permette di confrontare due fotocellule, e precisamente i tipi americani 929 e 930, in rapporto alla tensione e alla corrente di placca, corrispondenti a varie intensità luminose. La curvatura della linea caratteristica del tipo a gas, dovuta alla ionizzazione, è considerevole, ed è alquanto evidente anche la maggiore variazione di corrente per una data variazione di intensità luminosa.

Le fotocellule a gas non devono funzionare con tensioni superiori alla massima consentita, altrimenti si verifica una scarica tra i due elettrodi che può dete-

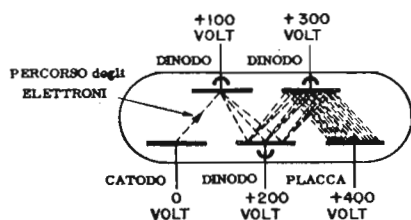



Fig.Fig. 14 — Principio di funzionamento del fotomoltiplicatore. Esso si basa sull'emissione secondaria determinata dalla violenza dell'urto da parte degli elettroni contro i vari anodi, detti « dinodi ».

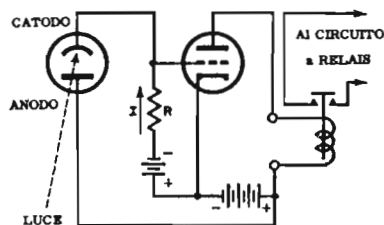



Fig. 15 — Circuito di principio dell'impiego di una cellula fotoelettrica per l'eccitazione di un dispositivo a relais. Consente varie applicazioni.

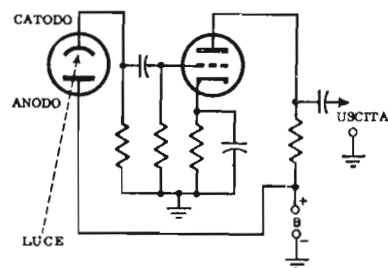



Fig. 16 — Circuito di principio dell'impiego di una cellula fotoelettrica per la lettura delle colonne sonore su pellicole cinematografiche.

riorare gravemente la superficie sensibile.

Per incrementare ulteriormente la sensibilità di una fotocellula, è possibile sfruttare anche il principio della emissione secondaria. In tal caso, ogni elettrone emesso direttamente dal catodo viene diretto in modo tale da urtare contro una serie di anodi secondari detti « dinodi », come illustrato alla **figura 14.**

Ciascun dinodo ha una superficie opportunemente trattata per facilitare una forte emissione secondaria. A causa della violenza dell'urto, ogni elettrone iniziale rimbalza, per così dire, dal primo dinodo e viene seguito da un considerevole numero di elettroni, i quali — a loro volta — urtano contro il secondo dinodo, e ripetono il fenomeno aumentando notevolmente la corrente. Con un certo numero di dinodi, inclusi in questo tipo di valvola detto fotomoltiplicatore, l'amplificazione conseguita è enorme. Esso può quindi essere impiegato in tutti quei casi in cui si richiede una sensibilità superiore a quella dell'occhio umano.

Circuiti ed applicazioni

Dal momento che la corrente fornita da una cellula fotoelettrica è molto debole, è quasi sempre necessario usare uno o più stadi di amplificazione per elevarla. Le variazioni di corrente vengono convertite in variazioni di tensione mediante il passaggio attraverso una resistenza di alto valore. Successivamente le tensioni vengono applicate alla griglia di una valvola amplificatrice, come illustrato alla **figura 15.** Nello schema, la tensione anodica necessaria per il funzionamento, sia della fotocellula che della valvola, viene fornita dalla batteria, ed è inoltre necessaria una seconda tensione per la polarizzazione della griglia e per il ritorno della corrente dal catodo alla fotocellula.

Quando la corrente della fotocellula aumenta per effetto della luce, il suo catodo emette elettroni, rendendo positiva — ossia meno negativa — la griglia della valvola. Ciò aumenta la corrente anodica, la quale — per tale effetto — mette in azione il relais (elettromagnete che, allorchè l'avvolgimento è percorso da corrente, attrae un'ancoretta mobile che chiude il circuito secondario), collegato in serie alla placca. Tale relais chiude dei contatti adatti al funzionamento di vari circuiti, a seconda dello scopo per il quale il dispositivo è stato creato.

Per la riproduzione del suono mediante l'impiego di una sorgente di luce modulata in intensità in relazione all'ampiezza e alla frequenza del suono stesso, è possibile usare un circuito del tipo illustrato alla **figura 16.** Si tratta di un amplificatore convenzionale, con accoppiamento a resistenza e capacità, che raccoglie la componente alternata presente alla uscita della fotocellula, causata dalle variazioni di intensità della luce. Essa viene prelevata dal lato del catodo della resistenza di carico della cellula, come avviene con una comune valvola amplificatrice ad accoppiamento catodico.

INDICATORI a FASCIO ELETTRONICO

La struttura interna di un dispositivo del genere è illustrato alla **figura 17.** Gli indicatori a fascio elettronico vengono frequentemente usati nei radioricevitori per indicare l'esattezza della sintonizzazione, oppure per scopi speciali in alcuni tipi di strumenti di misura, come vedremo a suo tempo, quando, ad esempio, è necessario constatare visualmente il verificarsi di piccole variazioni di tensione. Anche nei registratori magnetici del suono (di cui ci occuperemo) si utilizzano indicatori del genere per segnalare il livello al quale la registrazione viene eseguita.

La maggior parte di tali indicatori, denominati anche « occhi magici », contiene due serie di elementi, una delle quali è un triodo amplificatore, mentre l'altra costituisce l'indicatore vero e proprio dei raggi catodici.

Gli elettroni emessi dal catodo urtano contro la placca conica, la quale è rivestita internamente di una vernice fluorescente che si illumina quando viene da essi colpita. Un piccolo elettrodo filiforme, detto « elettrodo di controllo del raggio », è in prossimità del catodo e ad esso parallelo. Il compito dell'elettrodo di controllo consiste nel deflettere una parte degli elettroni emessi, provocando una zona d'ombra sull'anodo fluorescente. La forma dell'ombra è a cuneo, e l'angolo del cuneo varia di dimensioni col variare della tensione presente sull'elettrodo di controllo. Quest'ultimo è collegato alla placca del triodo. Quando l'elettrodo di controllo ha il medesimo potenziale della placca conica, la zona d'ombra si chiude completamente. Se, invece, il potenziale è meno positivo di quello della placca, si manifesta la zona d'ombra le cui dimensioni sono proporzionali alla differenza di potenziale tra i due elettrodi.

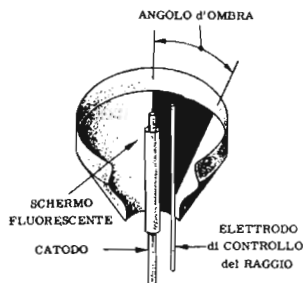



Fig. 17 — Principio di funzionamento dell'occhio magico. Mediante tale dispositivo, è possibile realizzare vari dispositivi di controllo.

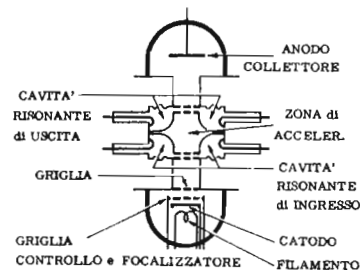



Fig. 18 — Rappresentazione schematica di un « klystron ». Tale valvola viene usata esclusivamente nei dispositivi funzionanti su frequenze elevatissime.

Dal momento che la tensione dell'elettrodo di controllo è eguale a quella dell'anodo del triodo, l'angolo della zona aumenta man mano che la griglia di questo ultimo diventa meno negativa.

VALVOLE per FREQUENZE ELEVATE

Se si aumenta entro un certo limite, la frequenza di funzionamento di un circuito a valvole, alcune caratteristiche di queste ultime, trascurabili con frequenze minori, vengono ad assumere una grande importanza. Una di queste caratteristiche è la capacità interelettrodica. Inoltre, la valvola stessa, e i conduttori che la collegano alla base, ossia ai piedini, presentano una piccola ma definita induttanza che alle frequenze molto alte offre una reattanza apprezzabile.

Infine, il « tempo di transito » (del quale ci siamo occupati a pagina 433), può essere talmente elevato nei confronti di determinate frequenze, da compromettere le relazioni di fase del segnale tra la placca e la griglia.

Per evitare tali inconvenienti, è necessario l'impiego di valvole speciali, i cui collegamenti interni sono ridotti alla minima lunghezza; si elimina poi lo zoccolo convenzionale, e, a volte, si fa in modo che la valvola faccia parte integrante delle dimensioni del circuito. Una realizzazione del genere ha portato alle « valvole faro » così chiamate per l'analogia della loro forma con la struttura caratteristica di un faro.

Gli elettrodi hanno dimensioni minime, e sono sistemati su piani paralleli onde rendere minime le superfici reciprocamente affacciate. Sono stati costruiti anche altri tipi, detti « valvole a ghianda », nei quali i terminali degli elettrodi sono costituiti da segmenti metallici rigidi che escono direttamente e radialmente dal bulbo di vetro. I vari collegamenti vengono saldati direttamente ad essi; in tal modo è possibile ottenere un funzionamento soddisfacente con frequenze elevate per le quali le valvole comuni più non si prestano.

Al di sopra dei 3.000 MHz, il tempo di transito, le capacità parassite e l'induttanza dei collegamenti diventano talmente critici che il funzionamento diviene impossibile anche con le valvole accennate. Le lunghezze d'onda scendono a pochi millimetri: in questo caso occorre disporre di valvole contenenti direttamente i circuiti oscillanti, i quali assumono l'aspetto di cavità risonanti ricavate nella struttura metallica della valvola stessa.

Una di tali valvole è il tipo denominato « magnetron », usato come oscillatore per microonde. Esso consiste in un diodo il cui funzionamento è influenzato da un forte campo magnetico parallelo all'asse del catodo. Compito del campo magnetico è di costringere gli elettroni a percorrere la distanza tra il catodo e la placca lungo una spirale. Il flusso elettronico a spirale passa entro una cavità risonante creata nella placca e provoca una oscillazione, esattamente come una bottiglia, attraverso la cui apertura venga introdotto un flusso d'aria a pressione, genera un'oscillazione sonora. Se le dimensioni della cavità sono sufficientemente piccole, e possibile raggiungere frequenze dell'ordine di 30.000 Megahertz. Il « magnetron » può funzionare solo come oscillatore.

Più flessibili nell'impiego in quanto sintonizzabili ed atti a funzionare anche come amplificatori sono i « klystron ». Il loro principio di funzionamento è basato sulla variazione di velocità cui viene sottoposto un fascio elettronico, in conseguenza del generarsi di autoscillazioni tra due risonatori a cavità. Nella funzione di amplificatori, i « klystron » introducono un fattore di « rumore » assai elevato: si preferisce pertanto usarli come oscillatori di potenza, in modo che non siano necessari ulteriori stadi di amplificazione.

Il cannone elettronico, costituito dal catodo e dalla griglia di controllo, proietta un fascio di elettroni che procede nella valvola attraverso due cavità risonanti e le griglie. Parte della potenza viene retrocessa, con fase opportuna, ed in tal modo viene a determinarsi una reazione tra l'entrata e l'uscita del sistema di cavità, che provoca lo stabilirsi di una oscillazione la cui frequenza dipende dalla velocità degli elettroni, e quindi dalle tensioni presenti sugli elettrodi. L'energia a radiofrequenza viene raccolta sulla seconda cavità mediante cavo coassiale o guida d'onda (e non sull'anodo come potrebbe pensarsi). Lo schema di un « klystron » è illustrato alla **figura 18.** Di questi due tipi di valvola ci occuperemo più dettagliatamente in futuro, nella lezione dedicata alle microonde.

RADIORICEVITORI a VALVOLE

Il lettore che ci ha seguito fin qui ha avuto modo di apprendere i concetti fondamentali sui quali si basa la tecnica delle comunicazioni radio. Abbiamo infatti studiato e realizzato alcuni tipi di ricevitori semplici, con la sola rivelazione a diodo, altri con l'aggiunta di uno o due stadi di amplificazione a transistori, ed abbiamo esaminato alla lezione 40ª, i principi di funzionamento del ricevitore a stadi accordati.

Proseguiamo ora, in modo sempre più dettagliato, nell'esame del ricevitore, sì da poter affrontare, tra non molto, lo studio di quel circuito sul quale si basa la quasi totalità delle apparecchiature di ricezione odierne: la *supereterodina*.

Sappiamo che, per raggiungere una buona sensibilità, è necessaria una certa amplificazione ad Alta Frequenza (prima cioè della rivelazione). Sappiamo inoltre che, per avere una certa potenza d'uscita, occorre una amplificazione a Bassa Frequenza (ossia dopo la rivelazione), sufficiente a fornire segnali a frequenza fonica, tali da consentire la riproduzione ad un livello sonoro adeguato mediante altoparlante.

Entrambe le tecniche di amplificazione sono state vagliate e discusse: ora, avremo modo di conoscere, oltre ad alcuni particolari aggiuntivi, sempre sulla tecnica dell'amplificazione, anche i vari metodi adottati per la rivelazione (demodulazione), per il controllo di volume o di sensibilità, (sia manuale che automatico), ed altre caratteristiche comuni a tutti i tipi di ricevitori, anche se a circuito supereterodina. Nella lezione a carattere pratico che facciamo seguire, la costruziodi un ricevitore (il primo adottante le valvole) consentirà l'avvicinamento più efficace ed utile agli apparecchi di ricezione moderni.

CONSIDERAZIONI sulle VALVOLE AMPLIFICATRICI

Nei ricevitori a stadi accordati è possibile usare nei singoli stadi di amplificazione tanto dei triodi, quanto dei tetrodi che dei pentodi. L'uso dei pentodi è il più comune, per il motivo che — come è noto — tale tipo di valvola permette una notevole amplificazione senza il rischio di provocare oscillazioni.

Possono essere impiegate valvole a «μ» variabile, ossia a coefficiente di amplificazione variabile, e valvole a bassa tensione di interdizione. Si osservi in proposito, a **figura 1,** il loro diverso comportamento.

Le valvole a «μ» variabile vengono impiegate nei circuiti ove, con una polarizzazione di griglia resa variabile, si arriverà a controllare l'amplificazione senza compromettere la linearità, ossia l'uniformità di amplificazione alle diverse frequenze. Con tali valvole l'intensità del segnale può variare in maniera considerevole, senza peraltro che la variazione dia luogo a distorsioni. Alcuni tipi tra i più comuni sono la 6K7, la 6SK7, la 6SG7, la 6BE6, la 6BA6 (americane), e la EF9, la DAF40, la UAF42 e la UF85 (europee). Queste valvole hanno una tensione di interdizione da — 15 a — 45 volt. Il funzionamento in classe A è perciò comodamente possibile fino al punto di interdizione.

Le valvole a bassa tensione di interdizione, come ad esempio la 6SJ7, la 6SH7, o la 7V7, hanno una conduttanza mutua più alta delle precedenti. Possono essere usate quando il segnale ricevuto è molto basso, e si desidera una considerevole amplificazione, (come ad esempio nel primo stadio) ed inoltre, quando l'intensità del segnale è relativamente costante: in caso contrario è facile incorrere in distorsioni.

VALVOLE AMPLIFICATRICI per VHF ed UHF

Per la ricezione delle radiotrasmissioni in queste due gamme, è necessario usare valvole appositamente costruite. L'impedenza di ingresso deve essere molto alta, altrimenti l'amplificazione subisce delle limitazioni. Per frequenza di 60 MHz, una normale valvola amplificatrice ad A.F. può presentare una impedenza di ingresso di 2.500 ohm, mentre una valvola appositamente costruita, può offrire una impedenza dell'ordine di 54.000 ohm.

Le valvole adatte a tale scopo sono di dimensioni molto ridotte, gli elettrodi sono alla minima distanza tra loro, e si nota l'assenza dello zoccolo.

Su queste valvole abbiamo detto alla lezione precedente, classificandole tra le valvole speciali.

CIRCUITI di AMPLIFICAZIONE a STADI ACCORDATI

Consideriamo lo stadio tipico di amplificazione ad A.F. illustrato alla **figura 2.** La valvola è un pentodo del tipo a coefficiente variabile di amplificazione (multimu); l'antenna è accoppiata alla griglia mediante un trasformatore con secondario a circuito sintonizzato. La polarizzazione è ottenuta sul catodo: la resistenza variabile inserita nel circuito del catodo permette di modificare la polarizzazione. L'uscita di tale stadio è accoppiata mediante trasformatore allo stadio successivo.

Fig. 1 - A) Curva di un pentodo a μ variabile. B) Pentodo a bassa tensione di interdizione.

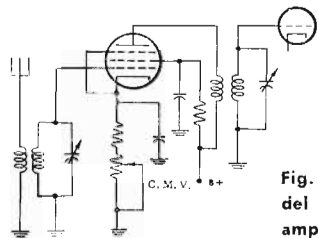
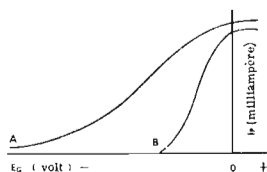



Fig. 2 — Applicazione del C.M.V. in uno stadio amplificatore ad A. F.

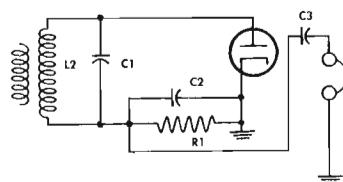



Fig. 3 A — Circuito tipico di un rivelatore a diodo. Il segnale a B. F. si manifesta ai capi di R1 e C2.

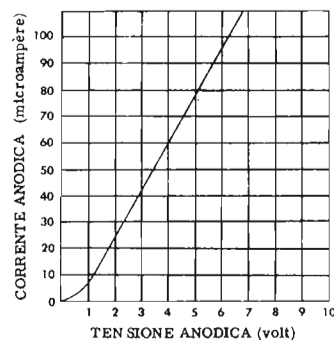



Fig. 3 B — Curva caratteristica del diodo. Si noti la non-linearità.

Il segnale a radiofrequenza può passare attraverso diversi stadi di tale tipo prima di essere applicato al rivelatore; passando attraverso tre o quattro circuiti sintonizzati, la selettività viene — come sappiamo — notevolmente aumentata. Ogni circuito, infatti, permette il passaggio della sola frequenza di risonanza, mentre attenua tutte le altre. Anche la sensibiltà aumenta considerevolmente grazie all'amplificazione da parte di ogni singolo stadio.

CIRCUITI di RIVELAZIONE

Come si è detto nell'analisi del ricevitore semplice, la rivelazione consiste nella rettificazione e nel filtraggio del segnale. Nella maggior parte dei ricevitori, essa viene effettuata mediante l'uso di una apposita valvola, o di un diodo a cristallo.

Esistono sei tipi distinti di circuiti di rivelazione a valvola: la rivelazione a diodo, per caratteristica di placca, ad impedenza infinita, a falla di griglia, a reazione ed a superreazione. Il tipo più comune è però il sistema di rivelazione a diodo.

Rivelazione a diodo

Osserviamo il circuito di rivelazione a diodo illustrato alla **figura 3-A**. Si nota subito che non esiste alcuna tensione anodica per polarizzare la placca.

La tensione a radiofrequenza presente ai capi del circuito di sintonia formato da L_2 e C_1 è applicata direttamente ai capi del diodo. Dal momento che la corrente scorre soltanto quando la placca è positiva rispetto al catodo, la tensione a radiofrequenza viene rettificata. Infatti — come è noto — durante la semionda positiva, il diodo conduce corrente, ed il condensatore C_2 si carica grazie alla d.d.p. creata dalla corrente ai capi di R_1. Durante l'altra semionda, (quando la placca è negativa), il diodo non conduce e C_2 si scarica in parte attraverso R_1 (resistenza di carico). Il valore di questa resistenza è però talmente alto, che la scarica non riesce a completarsi prima che la corrente si presenti di nuovo. Ciò significa che la carica di tale condensatore segue l'andamento dei picchi positivi del segnale a radiofrequenza. Dal momento che le onde di modulazione vengono individuate, punto per punto, da tali picchi, (inviluppo di modulazione) la carica sulla capacità riproduce l'audiofrequenza di modulazione.

Come si può vedere dal grafico di figura 3-**B**, il rapporto tra corrente e tensione di un diodo è lineare, tranne che per valori molto bassi della tensione di placca. Ciò significa che, se l'intensità del segnale è sufficiente, il responso del diodo è sempre lineare e si mantiene tale fino alla corrente di saturazione. La fedeltà è elevata, anche per i segnali la cui modulazione si avvicina al 100%.

L'attitudine da parte del diodo a sopportare segnali elevati è considerevole; esso può praticamente sopportare segnali di qualsiasi ampiezza, e la sua efficienza, in un circuito correttamente progettato, può raggiungere il 90%.

Per contro, la sensibilità e la selettività di un circuito di rivelazione a diodo lasciano un po' a desiderare. Tuttavia, nei moderni radioricevitori, la selettività e la sensibilità raggiunta negli altri stadi, rendono questo particolare di minore importanza.

Rivelazione per caratteristica di placca

Esaminiamo ora il circuito illustrato alla **figura 4-A**. Si tratta essenzialmente di uno stadio di amplificazione, nel quale la griglia è stata polarizzata leggermente al di sopra della tensione di interdizione. In altre parole, in assenza di segnale, scorre soltanto una debolissima corrente. Come si può vedere nel grafico illustrante la curva caratteristica (figura 4-**B**), la valvola conduce durante la semionda positiva della tensione di griglia, mentre è interdetta durante quasi tutta quella negativa. La corrente di placca è quindi continua e pulsante al regime dell'audiofrequenza, vale a dire segue lo andamento del segnale modulante.

R_1 e C_2 provvedono alla polarizzazione catodica della griglia, mentre C_3 ed L_3 costituiscono il circuito di filtraggio; C_3, infatti, oppone un'alta impedenza alla componente ad audiofrequenza della corrente di placca, ed una impedenza minima all'Alta Frequenza. L_3 compie una funzione inversa, ossia si oppone alla radiofrequenza, e permette il passaggio della sola B.F. Ne consegue che l'eventuale residuo a radiofrequenza, viene avviato a massa, mentre la corrente fonica di modulazione prosegue liberamente verso il circuito d'uscita.

R_2 è la « resistenza di carico » e viene percorsa dalla componente ad audiofrequenza della corrente di

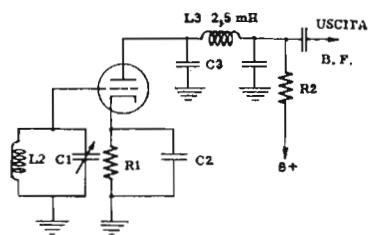



Fig. 4 A — Circuito di principio di un rivelatore per caratteristica di placca. Il segnale a B.F. si manifesta ai capi di R2, dopo essere stato filtrato da C3 ed L3.

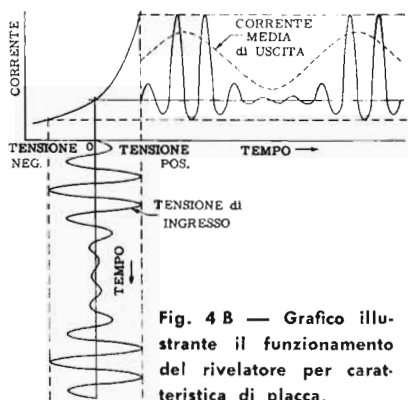



Fig. 4 B — Grafico illustrante il funzionamento del rivelatore per caratteristica di placca.

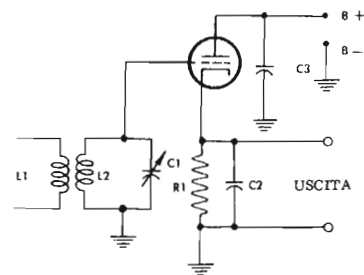



Fig. 5 — Circuito di un rivelatore ad impedenza infinita. Il segnale a B. F. si manifesta ai capi di R1 e di C2.

placca. La caduta di tensione presente ai suoi capi riproduce la tensione di modulazione nel circuito di uscita.

La sensibilità e la selettività del rivelatore per caratteristica di placca sono notevoli. La prima è alta, grazie all'amplificazione, e la seconda lo è grazie al fatto che, non essendovi corrente di griglia che possa assorbire parte dell'energia del segnale proveniente dal circuito accordato di sintonia, il fattore di merito, Q, di quest'ultimo resta ad un valore molto alto.

Questo sistema di rivelazione lascia a desiderare in fatto di fedeltà solo quando il segnale ha una tensione talmente bassa che l'amplificazione ha luogo nel tratto inferiore della curva caratteristica, oppure quando la tensione del segnale è talmente alta da portare la corrente anodica al limite di saturazione.

I valori del segnale sono delimitati dalla tensione negativa di griglia, e dalla tensione di saturazione. Per molte valvole, detti limiti sono però sufficientemente distanziati sì da non costituire inconveniente.

Rivelazione a impedenza infinita

Si tratta di un sistema di rivelazione che riunisce i vantaggi del sistema a diodo e di quello per caratteristica di placca. Come il diodo, ha un'ampia gamma di ammissione del segnale e come il rivelatore di placca non presenta corrente di griglia che assorbe parte dell'energia del segnale, Sia la sensibilità che la selettività sono caratterizzate perciò da ottimi valori.

Il circuito è illustrato alla **figura 5.** Come si vede, R_1 e C_2, entrambi in serie al catodo ed in parallelo tra loro, forniscono una tensione di polarizzazione di valore prossimo a quello di interdizione. Il valore di C_2 è tale da costituire quasi un cortocircuito agli effetti della radiofrequenza ma da non consentire praticamente passagio per la B.F.

In assenza del segnale sulla griglia, la corrente è minima, per cui la caduta di tensione ai capi di R_1 è minima e costante. Non appena però la griglia subisce una eccitazione positiva, la corrente dovuta alla componente a radiofrequenza del segnale passa attraverso C_2, mentre resta la componente ad audiofrequenza. Durante l'eccitazione negativa C_2 si carica in parte attraverso R_1. Da ciò si deduce che la carica di C_2 segue le variazioni rapide dei segnali ad A.F. Il risultato è che la corrente fonica è la sola ad essere presente ai capi del circuito d'uscita.

Qualsiasi aumento dell'intensità del segnale applicato alla griglia, si risolve in un aumento dell'ampiezza dei segnali a B.F. presenti ai capi di R_1. Così, aumentando la tensione di griglia, si ha per conseguenza un aumento della tensione del catodo. In altre parole, la tensione catodica segue la tensione di griglia, e la griglia non può mai diventare positiva rispetto al catodo stesso. E' quindi chiaro che, non essendovi mai un potenziale positivo di griglia che possa causare una corrente di griglia, l'impedenza presente tra questi due elettrodi è sempre infinita; perciò la valvola non agisce mai come carico applicato al circuito sintonizzato. Il fattore di merito, Q, del circuito di sintonia è sempre al suo valore più alto.

Rivelazione a falla di griglia

Si tratta di un circuito analogo a quello di un rivelatore a diodo, seguito da un amplificatore, con la differenza che entrambi sono realizzati mediante una sola valvola. Infatti, la griglia e il catodo del triodo agiscono come diodo e, contemporaneamente, come ingresso di uno stadio amplificatore. Si può impiegare tanto un diodo come un pentodo: la **figura 6-A** illustra tale circuito, con l'impiego di un triodo.

La griglia assorbe corrente durante la semionda positiva del segnale. Dal momento che la reattanza del condensatore di griglia C_2 è molto inferiore alla resistenza di R_1 nei confronti dell'Alta Frequenza, il condensatore si carica durante le alternanze positive. Quando il segnale diventa negativo, la corrente di griglia diminuisce o si ferma, e C_2 si scarica parzialmente attraverso R_1. Il tempo di scarica di detto condensatore è, d'altra parte, talmente lento, che può seguire le varie d.d.p. della modulazione (B.F.) ma non le oscillazioni ad Alta Frequenza. Il segnale udibile è quindi presente ai capi di R_1 e C_2, ed essendo applicato alla griglia del triodo, viene da questo amplificato.

L'amplificazione naturalmente si svolge a tutto vantaggio della B.F., e gli eventuali residui di radiofrequenza presenti nel circuito di placca vengono cortocircuitati a massa grazie alla bassa reattanza di C_3 alle frequenze elevate.

Il segnale amplificato viene prelevato ai capi della

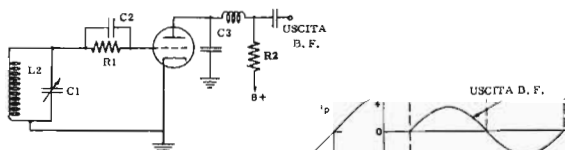



Fig. 6 A - circuito di principio del rivelatore a falla di griglia. E' analogo al rivelatore a diodo, con la aggiunta di una certa amplificazione da parte del triodo.

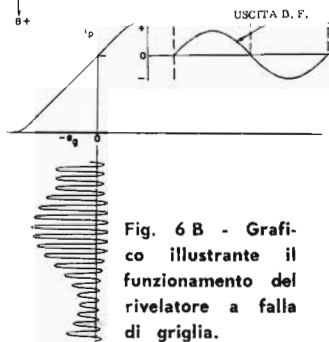



Fig. 6 B - Grafico illustrante il funzionamento del rivelatore a falla di griglia.

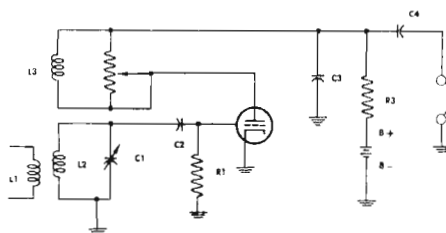



Fig. 7 — Circuito di un rivelatore a reazione. Si noti che, sostanzialmente, è analogo al rivelatore a falla di griglia. L'accoppiamento tra placca e griglia aumenta notevolmente la sensibilità.

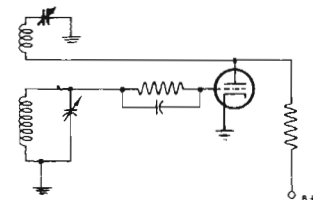



Fig. 8 — Rivelatore a reazione analogo al precedente. In questo caso la reazione è controllata da un variabile invece che da un potenziometro.

resistenza di carico anodico, R_2, la quale, allorchè si tratta di un triodo, può essere vantaggiosamente sostituita dall'avvolgimento primario di un trasformatore. Quest'ultimo non potrebbe essere usato nel caso del pentodo, in quanto dovrebbe avere una impedenza praticamente irrealizzabile, ed è allora necessario lasciare una resistenza di adeguato valore, come carico.

Normalmente questo tipo di rivelatore può funzionare con segnali di griglia di notevole ampiezza. Come illustrato alla figura 6-**B**, esso funziona lungo il tratto rettilineo della curva. La sua sensibilità è considerevole in quanto il segnale rivelato viene contemporaneamente amplificato.

Dal punto di vista della selettività, abbiamo invece in questo caso un rendimento non eccessivamente brillante, in quanto, a causa della corrente di griglia che è presente in alcuni istanti delle varie fasi, il circuito di sintonia viene ad avere un carico saltuario che ne diminuisce il fattore di merito. Ciò nonostante, esso permette una buona linearità di responso; la gamma di segnale che può essere applicata è molto ampia.

Rivelazione a reazione

I rivelatori a reazione sono tipi speciali di rivelatori a falla di griglia. Come si vede alla **figura 7**, nel circuito di placca si trova una bobina cosiddetta di « reazione », la quale, per induzione, restituisce al circuito sintonizzato di griglia una parte di energia. Questo provvedimento consente di rafforzare il segnale in arrivo. In tal modo il segnale non viene soltanto rivelato ed amplificato dalla valvola, ma anche da essa rafforzato all'atto in cui è applicato all'ingresso dello stadio. Tale segnale rafforzato è anch'esso amplificato e, in parte, ripresentato ancora al circuito di griglia. Questo sistema permette di raggiungere una sensibilità molto superiore a quella raggiungibile con gli altri rivelatori precedentemente descritti. Tuttavia, il circuito presenta alcune difficoltà pratiche, in quanto la messa a punto è alquanto critica.

Se il segnale di reazione è eccessivamente alto, il circuito funziona da oscillatore producendo dei fischi intollerabili nel circuito di uscita, e provocando contemporaneamente delle interferenze con gli altri ricevitori circostanti.

Questa tendenza ad oscillare può, in un caso, essere utilizata con profitto, ed è allorchè viene sfruttata per rendere udibili segnali radiotelegrafici trasmessi con onde persistenti, cioè segnali non modulati. A tale scopo, la resistenza variabile R_2 viene regolata in modo tale che il circuito oscilli. La frequenza di oscillazione è leggermente diversa da quella di ricezione (sulla quale cioè L_2 e C_1 sono sintonizzati) e ciò produce nella cuffia un battimento udibile (tra il segnale in arrivo e quello locale) la cui frequenza può essere regolata mediante R_2.

Esistono altri circuiti mediante i quali si può far funzionare una valvola come rivelatrice in reazione, leggermente diversi da quello illustrato alla figura7.

Ad esempio, (vedi **figura 8**), la reazione può essere applicata mediante una bobina collegata da un lato direttamente alla placca, e dall'altro a massa attraverso una capacità variabile.

Il controllo della reazione può anch'esso essere effettuato in vari modi: è infatti possibile controllarla con un potenziometro in parallelo alla bobina di reazione, con un condensatore variabile in parallelo o in serie a detta bobina, o ancora, variando il grado di accoppiamento tra quest'ultima e la bobina di sintonia.

Nel caso che la valvola sia un pentodo, la reazione può essere controllata variando con un potenziometro la tensione della griglia schermo. In tal caso — come sappiamo — varia il coefficiente di amplificazione e, di conseguenza, l'ampiezza del segnale presente nel circuito di placca. Ovviamente, maggiore è tale ampiezza, maggiore è la quantità di segnale retrocesso al circuito di griglia tramite la reazione e viceversa.

Incidentalmente aggiungiamo che la reazione può essere positiva o negativa. Nel primo caso il segnale retrocesso dal circuito di placca al circuito di griglia è in fase con quello in arrivo dalla bobina di sintonia, e nel secondo è invece in opposizione di fase. Il passaggio da un tipo all'altro viene effettuato invertendo i collegamenti della bobina di reazione. Agli effetti del rivelatore in questione la reazione deve essere positiva.

Rivelazione a superreazione

Questo tipo di circuito presenta molte analogie con quello or ora citato per la ricezione di segnali Morse.

Quando il rivelatore oscilla, l'ampiezza delle oscillazioni viene controllata dall'ampiezza del segnale d'in-

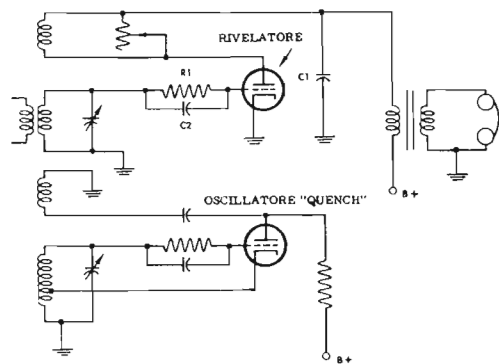



Fig. 9 — Circuito tipico di uno stadio rivelatore in superreazione. E' preferibile con frequenze elevate.

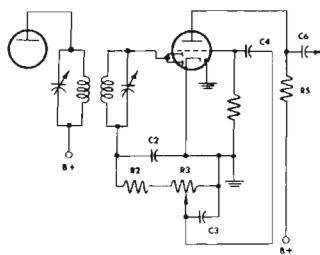



Fig. 10 — Circuito di un rivelatore a diodo. Il diodo è abbinato ad un triodo che amplifica il segnale a Bassa Frequenza. R3 è il controllo di volume.

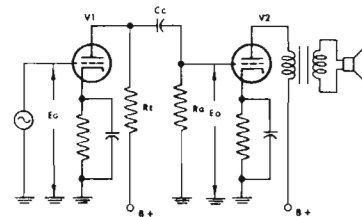



Fig. 11 — Amplificatore di Bassa Frequenza costituito da una valvola « pilota » e da una finale di potenza. Al posto del generatore può essere collegata l'uscita di un rivelatore.

gresso a radiofrequenza. Il tempo di oscillazione è, a sua volta, controllato da un apposito oscillatore di bloccaggio (in inglese « quench »), che funziona ad una frequenza approssimativa di 20 kHz, ed applica un ulteriore segnale alla griglia del rivelatore. Quando detto segnale è in fase con quello in arrivo, il rivelatore oscilla, mentre quando è di polarità opposta, l'oscillazione viene bloccata.

Di conseguenza, ogni volta che le oscillazioni si producono, nel circuito di placca del rivelatore si sviluppa una tensione pulsante, la cui ampiezza viene controllata da quella del segnale a radiofrequenza durante il tempo dell'impulso. Il circuito è illustrato alla **figura 9.** Gli impulsi successivi variano quindi in ampiezza a seconda dell'andamento della tensione di modulazione. Essi vengono filtrati da C_1 in modo che al primario del trasformatore di uscita pervenga soltanto la tensione ad audiofrequenza.

Per evitare che la frequenza dell'oscillatore di bloccaggio venga percepita all'uscita dell'intero apparecchio, essa deve avere, come si è visto, un valore superiore alla massima frequenza udibile. Inoltre, il rapporto tra la frequenza del segnale di ingresso e quella dell'oscillatore ausiliario deve essere almeno di 100/1, onde evitare che si produca un rumore parassita notevole. Ciò significa che la frequenza per la quale si otterrà un funzionamento soddisfacente sarà di 2.000 kHz.

Questo tipo di circuito è praticamente adatto alla gamma VHF, e viene, a volte, impiegato nelle apparecchiature dilettantistiche.

I ricevitori in superreazione sono compatti, leggeri, e di basso costo; consumano poca energia per l'alimentazione, ed hanno un'amplificazione sorprendente se si tiene conto del numero di valvole impiegato. La sensibilità è elevatissima, ma la linearità lascia molto a desiderare e così la selettività, a causa del carico sul circuito di sintonia dovuto alla presenza della corrente di griglia. La gamma di ampiezza di segnale utile all'entrata è molto ampia.

Rivelazione con valvola ad elementi multipli

Una delle valvole speciali ad elementi multipli è il doppio diodo-triodo.

Il suo impiego è illustrato alla **figura 10,** che riproduce il circuito di un rivelatore seguito da uno stadio amplificatore. In questo caso, una sola valvola agisce contemporaneamente da rivelatrice e da amplificatrice a B.F. Essa contiene un catodo, una griglia di controllo, una placca per il triodo, e due diodi. Nel circuito in esame, le due placchette dei diodi sono unite insieme per formare un diodo solo rispetto al catodo. Quando il circuito sintonizzato — collegato tra le placche dei diodi ed il catodo — rende le prime positive rispetto al secondo, il diodo conduce corrente.

R_2 ed R_3, in serie tra loro, costituiscono la resistenza di carico di placca della sezione diodica; la radiofrequenza presente eventualmente ai capi, è cortocircuitata da C_2. R_3 è un potenziometro che preleva il segnale ad audiofrequenza esistente agli estremi di una parte del carico di placca, e la applica alla griglia del triodo di amplificazione attraverso il condensatore di accoppiamento C_4. L'amplificatore agisce come stadio ad alto coefficiente di guadagno, e fornisce la tensione di eccitazione alla griglia di una valvola amplificatrice di potenza. R_5 costituisce la resistenza di carico anodico del triodo.

La SEZIONE AUDIO

Come abbiamo appreso nella lezione 55ª, esistono due tipi di stadi amplificatori: gli amplificatori di tensione, e gli amplificatori di potenza. Quando la B.F. deve essere riprodotta da una cuffia, la sezione audio ha di solito uno o due stadi di amplificazione di tensione. Viceversa, nei casi in cui deve essere riprodotta da un altoparlante o da un certo numero di cuffie in parallelo tra loro, si usano due o più stadi di amplificazione, di cui uno solitamente è di tensione, e gli altri di potenza.

L'amplificatore di tensione ad audiofrequenza ha il compito di dare al segnale una ampiezza sufficiente ad eccitare la griglia dell'amplificatore di potenza, ovvero a far funzionare la cuffia. Esso può essere tanto un triodo che un pentodo. Nella maggior parte dei casi si usa una valvola ad amplificazione media, specialmente quando gli stadi precedenti, di amplificazione a radiofrequenza, forniscono un segnale sufficientemente amplificato. Di solito, l'accoppiamento fra l'amplificatrice di tensione e quella di potenza è del tipo a resistenza e capacità.

L'amplificazione di tensione di un triodo a medio guadagno funzionante su frequenze intorno a 1.000 Hz,

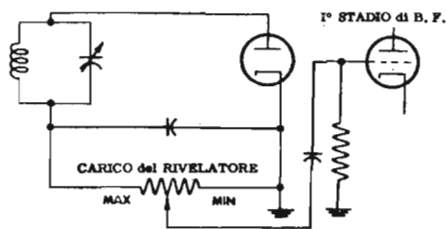



Fig. 12 — In questo circuito di rivelazione a diodo, il potenziometro, oltre a costituire il carico del diodo ai cui capi si manifesta il segnale di B. F., agisce da controllo manuale di volume.

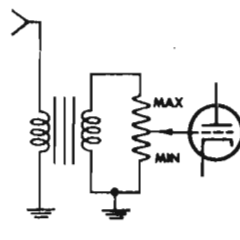



Fig. 13 A — Applicazione del controllo di volume all'ingresso di uno stadio amplificatore con accoppiamento a trasformatore.

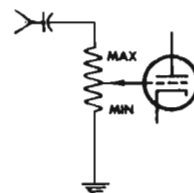



Fig. 13 B — Applicazione del controllo di volume all'ingresso di uno stadio con accoppiamento a resistenza e capacità.

varia da 10 a 70, e la resistenza di carico deve essere pari a diverse volte la resistenza di placca. Alle lezioni 60ª e 63ª il lettore può trovare, nelle tabelle, tutti i dati di funzionamento ed i valori dei componenti relativi, per moltissimi tipi di valvole.

Sappiamo che, in certo qual modo, l'amplificatore di potenza trasforma la c.c. che lo alimenta in « potenza a c.a. ». Se si usa un triodo, esso deve avere una resistenza interna di basso valore. Il massimo trasferimento di potenza, vale a dire il più alto rendimento, viene raggiunto quando l'impedenza del carico è eguale alla resistenza interna; tuttavia, in pratica — e ciò abbiamo già visto in dettaglio studiando i diversi tipi di valvole — l'impedenza di carico viene tenuta ad un valore inferiore onde evitare distorsioni. Generalmente gli amplificatori di potenza sono realizzati con tetrodi a fascio o pentodi, la cui efficienza, vale a dire il rendimento, è, come sappiamo, maggiore di quella dei triodi. Vi sono tipi di tetrodi che erogano una potenza pressochè doppia di quella del triodo, pur in presenza di una tensione di griglia pari a un quarto di quella applicata al triodo. Per tetrodi e pentodi, già abbiamo detto che si usa una impedenza di carico pari a un decimo del valore della resistenza di placca.

Osservando i due stadi (amplificazione di tensione e di potenza) illustrati alla **figura 11,** considereremo il generatore collegato nel circuito di griglia di V_1 (amplificatrice di tensione), corrispondente ad uno stadio rivelatore, visto come sorgente di energia (segnale).

La tensione di uscita di V_1 è accoppiata mediante condensatore a V_2, che agisce da amplificatrice di potenza. Il circuito d'uscita di V_2 è a sua volta accoppiato all'altoparlante mediante un trasformatore. Compito di quest'ultimo è di adattare l'alta impedenza di placca della valvola alla bassa impedenza della bobina mobile, come è stato più volte spiegato (vedi lezione sui trasformatori di Bassa Frequenza).

SISTEMI di CONTROLLO di VOLUME

Dal momento che i segnali captati dall'antenna possono essere di varia intensità, a seconda della distanza e della potenza del trasmettitore sul quale l'apparecchio ricevente viene sintonizzato, e poichè il volume di voce richiesto per l'ascolto varia a seconda dei gusti dell'ascoltatore e delle dimensioni dell'ambiente in cui il ricevitore funziona, quest'ultimo deve essere in grado di fornire suoni di intensità regolabile a piacere. E' estremamente utile poter fare in modo che sia i segnali molto deboli che quelli molto forti, possano essere riprodotti, e quindi uditi, con la medesima intensità.

Il procedimento mediante il quale è possibile ottenere tale regolazione implica l'uso del comando detto **controllo di volume,** per il quale esistono tre sistemi distinti: **a**) il controllo manuale dell'intensità dei segnali ad audiofrequenza; **b**) il controllo manuale della intensità dei segnali a radiofrequenza; **c**) il controllo automatico dell'amplificazione a radiofrequenza.

CONTROLLO MANUALE dell'intensità dei segnali ad audiofrequenza

Il controllo dell'intensità dei segnali nella sezione B.F. di un ricevitore si chiama controllo manuale di volume. Come si vede alla **figura 12** esso viene realizzato mediante l'impiego di un potenziometro quale resistenza di carico del rivelatore. Il cursore di detto potenziometro, che può essere spostato da un estremo all'altro della resistenza attraverso tutti i valori intermedi, può così prelevare tutta o una parte della tensione ad audiofrequenza presente ai suoi capi. In tal modo viene regolata l'ampiezza del segnale, che viene successivamente avviato, come si vede nello schema, alla griglia della prima valvola amplificatrice a B.F. Le indicazioni presenti nella stessa figura ai capi del potenziometro indicano le posizioni di volume « massimo » e « minimo » come il lettore può facilmente intuire.

Per altri tipi di accoppiamento, il collegamento del potenziometro può essere effettuato come alla **figura 13.** In **A** l'uscita del rivelatore è accoppiata capacitivamente ad un potenziometro, il cui cursore è collegato direttamente alla griglia della prima valvola amplificatrice a B.F.; il potenziometro stesso agisce da resistenza di griglia della valvola. Il cursore preleva la quantità desiderata di segnale.

In **B** della figura — invece — lo stadio del rivelatore è accoppiato all'amplificatore a B.F. mediante trasformatore: il secondario è connesso ai capi del potenziometro. Il cursore di quest'ultimo è in diretto contatto con la griglia della valvola seguente. In questo caso il potenziometro ed il secondario del trasformatore costituiscono un circuito in serie chiuso, (ossia,

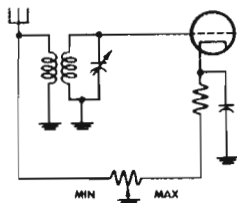



Fig. 14 — In questo circuito, il potenziometro è collegato in modo da controllare il volume nei confronti sia dell'amplificazione da parte della valvola (in quanto varia la polarizzazione), sia dell'ampiezza del segnale di ingresso, proveniente dall'antenna ed accoppiato mediante un trasformatore.

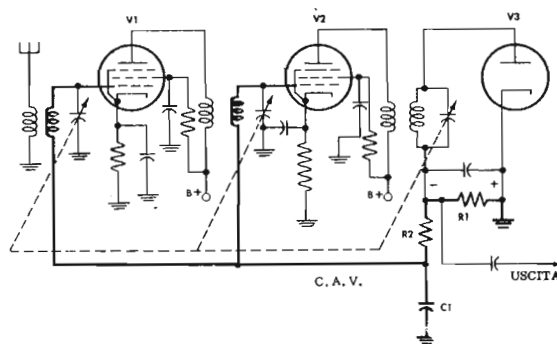
Fig. 15 — Amplificatore ad Alta Frequenza a stadi accordati. Il circuito del C.A.V. è messo in rilievo con tratto più grosso.

sono tra loro in parallelo), ed il cursore preleva la quantità di segnale desiderata per applicarla alla griglia della valvola amplificatrice.

L'ampiezza dei segnali a radiofrequenza può essere controllata direttamente nel circuito di antenna. In tal caso, l'antenna è collegata al cursore di un potenziometro, oppure il cursore stesso è collegato a massa mentre l'antenna è collegata ad un estremo del potenziometro; in altri casi ancora il cursore è collegato capacitivamente alla griglia della prima valvola amplificatrice ad A.F., mentre tra detta griglia e massa si trova il circuito sintonizzato. In ognuno di tali casi il potenziometro determina la quantità del segnale applicata alla griglia.

CONTROLLO MANUALE dell'amplificazione a radiofrequenza

L'ampiezza del segnale a radiofrequenza può essere controllata anche direttamente nei vari stadi di amplificazione, variando il loro guadagno singolo. Il sistema è noto col nome di controllo manuale di guadagno. Come si vede alla figura 2, la resistenza variabile si trova nel circuito catodico della valvola amplificatrice ad A.F. Essa si trova in serie ad una resistenza fissa che permette ed assicura un minimo di tensione di polarizzazione. Lo spostamento del cursore provoca variazioni della tensione di polarizzazione, e quindi dello ammontare di amplificazione della valvola. E' necessario si tratti di un tipo di valvola a coefficiente variabile o « multi-μ », in quanto solo tale tipo consente — come ben sappiamo — notevoli variazioni di tensione di polarizzazione senza causare distorsioni. In pratica, il potenziometro è più opportuno si trovi nel circuito catodico di più stadi, in quanto così si rende possibile controllare contemporaneamente il guadagno di diversi stadi di amplificazione a radiofrequenza.

Il controllo di volume sull'antenna, ed il controllo manuale di guadagno, possono essere accomunati mediante l'impiego di un solo potenziometro, come è illustrato alla **figura 14.** In questo caso il potenziometro controlla sia l'ammontare della resistenza presente in parallelo al primario del trasformatore di ingresso, (antenna) sia la tensione di polarizzazione della prima valvola amplificatrice a radiofrequenza.

CONTROLLO AUTOMATICO di VOLUME

Il controllo di volume permette, come abbiamo detto, di ottenere una potenza d'uscita pressochè eguale sia durante la ricezione di segnali deboli che durante quella di segnali molto forti. Il fenomeno noto col nome di « fading » (evanescenza), cioè l'affievolimento delle onde in arrivo, e la eccessiva diversità tra l'intensità dei segnali provenienti dalle varie emittenti locali e lontane, causano tali variazioni nell'ampiezza del segnale che nessuna predeterminata posizione del controllo manuale di volume permette una ricezione di potenza d'uscita uniforme. Per questo motivo si usa il **controllo automatico di volume** (CAV), che rimedia a tale inconveniente e permette un'uscita uniforme per differenti intensità di segnali all'antenna.

Generalmente il CAV controlla il guadagno dei diversi stadi di amplificazione ad A.F. precedenti il rivelatore, come illustrato alla **figura 15.** In essa, tutti i componenti relativi al circuito del CAV stesso sono riportati in tratto più marcato.

Naturalmente, nel caso di applicazione di tale circuito, occorrono sempre valvole a coefficiente di amplificazione variabile, per i motivi già detti.

V_1 e V_2 sono amplificatrici ad A.F., mentre V_3 è la rivelatrice. Il dispositivo del controllo automatico di volume ha inizio nel rivelatore e riflette la sua azione sugli stadi precedenti. R_1 è la resistenza di carico del rivelatore, ed ai suoi capi è presente la corrente fonica a B.F., la cui intensità — o meglio ampiezza — dipende dall'ampiezza del segnale applicato al diodo.

Quando detto segnale è forte, ovviamente la tensione presente ai capi di R_1 è elevata, e viceversa. E' importante rilevare che detta tensione è negativa rispetto a massa; si noti che anch'essa viene applicata, attraverso R_2, alle griglie di V_1 e V_2. Ciò comporta una diminuzione del coefficiente di amplificazione di entrambe. L'ammontare di tale diminuzione dipende naturalmente dall'ampiezza del segnale che si sviluppa ai capi di R_1; se essa è minima, è minima anche la tensione negativa applicata alle griglie, per cui le rispettive valvole subiranno solo una lieve diminuzione del rendimento, mentre tale diminuzione sarà considerevole se la tensione negativa sarà alta a causa della maggiore ampiezza del segnale presente ai capi di R_1.

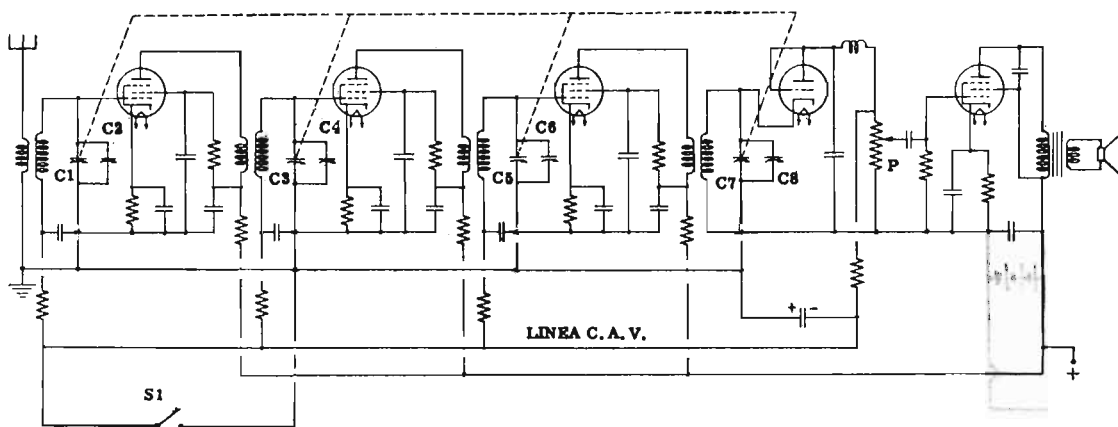



Fig. 16 - Schema tipico di un ricevitore a stadi accordati a cinque valvole. Le prime tre amplificano in Alta Frequenza: la quarta rivela e amplifica in Bassa Frequenza. La quinta è la finale le di potenza. Si notino il C.M.V. (P), ed il circuito C.A.V.

Da ciò si rileva anzitutto che il CAV riduce l'amplificazione di entrambe le valvole, ma che, essendo la riduzione proporzionale alla intensità del segnale, si ha una potenza d'uscita pressochè uniforme nonostante le eventuali variazioni del segnale stesso. Occorre inoltre notare che la riduzione generale di amplificazione — causata dal circuito CAV — è trascurabile in confronto all'amplificazione effettiva dei vari stadi.

Naturalmente, la caduta di tensione ai capi di R_1 è una tensione c.c. del tipo pulsante a frequenza acustica; la sua applicazione diretta alle griglie delle amplificatrici ad A.F. causerebbe distorsioni; per tale motivo essa viene filtrata prima della applicazione alle griglie delle valvole — onde sopprimere la componente ad audiofrequenza — mediante un filtro costituito da R_2 e C_1. La costante di tempo di questi due componenti è tale che le pulsazioni ad audiofrequenza vengono eliminate, e rimane una c.c. pura che viene applicata alle griglie delle valvole amplificatrici a radiofrequenza.

RICEVITORE TIPICO a STADI ACCORDATI

Fino ad ora, abbiamo esaminato, stadio per stadio, tutte le parti di un ricevitore a stadi accordati, i vari sistemi di rivelazione, ed i vari sistemi di controllo del volume, ossia della potenza d'uscita. E' giunto il momento di raggruppare i diversi circuiti analizzati e di formare lo schema di un ricevitore vero e proprio a stadi accordati, come ad esempio quello il cui schema elettrico è illustrato alla **figura 16.** L'antenna è accoppiata induttivamente all'ingresso della prima valvola amplificatrice. Vi sono tre stadi di amplificazione ad A.F. seguiti da uno stadio rivelatore: quattro circuiti di sintonia ad A.F. controllano gli ingressi di tali stadi e del rivelatore, e sono azionati simultaneamente in quanto C_1, C_3, C_5, C_7, ossia i condensatori variabili, sono montati su di un unico albero che determina la rotazione contemporanea e simmetrica di tutti i rotori. I condensatori C_2, C_4, C_6, C_8 sono compensatori, e possono essere regolati separatamente al fine di ottenere l'allineamento o taratura dei vari circuiti di sintonia, mediante la quale è possibile perfezionare una volta per sempre la loro sintonizzazione sulla medesima frequenza. Tutti questi stadi sono accoppiati mediante trasformatore.

I tre stadi di amplificazione ad A.F. adottano pentodi a coefficiente di amplificazione variabile. Lo stadio rivelatore agisce col sistema di rivelazione a diodo pur essendo un triodo in quanto la griglia e la placca sono collegate insieme per formare un diodo propriamente detto.

L'uscita dello stadio rivelatore è a sua volta accoppiata capacitivamente allo stadio di amplificazione a B.F. costituito anch'esso da un pentodo; l'uscita è collegata all'altoparlante mediante un normale trasformatore d'uscita.

Tutti gli stadi amplificatori sono polarizzati mediante polarizzazione catodica.

Un unico potenziometro, *P*, consente la regolazione del volume.

Quando l'interrutore S_1 è chiuso la sezione CAV viene cortocircuitata, per cui il relativo circuito non funziona. Si possono usare tre tipi di controllo del volume: il controllo manuale di guadagno in una posizione dello interruttore, ed il controllo sia manuale che automatico (CAV) nell'altra.

Il circuito di alimentazione può essere con valvola rettificatrice delle due semionde ad alto vuoto, e con il filtro del tipo detto a «π» con ingresso capacitivo.

Questo tipo di filtro sviluppa un'alta tensione a c.c. (circa 0,9 volte la tensione di picco della c.a.), ma lascia a desiderare in fatto di regolazione (stabilità di tensione in funzione del carico) della tensione. Tuttavia, la corrente assorbita dal circuito del ricevitore è abbastanza costante, per cui tale circuito di alimentazione funziona nonostante ciò in maniera efficace e soddisfacente, ed è adottato dalla maggior parte dei radioricevitori. La tendenza attuale è volta alla sostituzione della valvola raddrizzatrice con elementi ad ossido.

I ricevitori a stadi accordati sono stati completamente sostituiti dai ricevitori supereterodina che rimediano ai loro difetti consistenti nel presentare sensibilità e selettività non uniformi su tutta la gamma di sintonia, e difficoltà di ottenere il funzionamento realmente soddisfacente nella gamma delle frequenze molto alte.

SIMBOLI - ABBREVIAZIONI

C.M.V. = Controllo manuale di volume

C.A.V. = Controllo automatico di volume

A_1 = Anodo della prima sezione di una valvola multipla

A_2 = Anodo della seconda sezione di una valvola multipla

E_i = Potenziale di ionizzazione di una valvola a gas

E_e = Potenziale di estinzione in una valvola a gas

G_4 = Quarta griglia di una valvola multigriglia

G_5 = Quinta griglia di una valvola multigriglia

G_6 = Sesta griglia di una valvola multigriglia

K_1 = Catodo di una prima sezione di una valvola multipla

K_2 = Catodo della seconda sezione di una valvola multipla

E_{inv} = Tensione inversa

SEGNI SCHEMATICI

 = Triodo a gas (« thyratron »)

 = Eptodo

 = Ottodo

 = Diodo-triodo

 = Doppio diodo-triodo

 = Diodo-pentodo

 = Doppio diodo-pentodo

 = Doppio triodo con catodi in comune

 = Doppio triodo con catodi separati

 = Triodo pentodo con catodo in comune

 = Triodo pentodo con catodi separati

 = Triodo esodo

 = Triodo eptodo

 = Occhio magico

DOMANDE sulle LEZIONI 64ª e 65ª

N. 1 —
Quale è il numero massimo di griglie fino ad ora presente in una valvola multigriglia?

N. 2 —
Per quale motivo sono state create le valvole multiple? Quali sono i vantaggi che esse consentono nella realizzazione di apparecchiature elettroniche?

N. 3 —
Per quale motivo in una valvola a gas la tensione di ionizzazione è maggiore della tensione di estinzione?

N. 4 —
Quale è la differenza tra una lampada a gas per corrente continua e una per corrente alternata? E' possibile usarle indifferentemente?

N. 5 —
Cosa si intende per massima tensione inversa, in un diodo a gas? Per quale motivo è indispensabile tenerne conto?

N. 6 —
Quale è il gas contenuto in una valvola a catodo caldo?

N. 7 —
Per quale motivo le valvole a gas a catodo caldo necessitano, prima di entrare in funzione, di un tempo di riscaldamento?

N. 8 —
Cosa si intende per « thyratron »?

N. 9 —
Quali devono essere le caratteristiche di una valvola, affinchè essa possa funzionare su frequenze elevatissime?

N. 10 —
Quali sono le differenze principali tra un ricevitore a reazione ed uno a stadi accordati?

N. 11 —
Quanti e quali sono i tipi di rivelazione?

N. 12 —
Quali sono i principali inconvenienti del ricevitore a reazione?

N. 13 —
Cosa si intende per C.A.V.? A cosa serve?

N. 14 —
In quale modo agisce il C.A.V.? In quali circuiti viene normalmente applicato?

N. 15 —
Come devono essere le valvole controllate da un circuito C.A.V.?

N. 16 —
Per quale motivo, in un ricevitore a stadi accordati, è opportuno predisporre dei compensatori in parallelo ai vari settori del condensatore variabile?

RISPOSTE alle DOMANDE di Pag. 497

N. 1 — La frequenza, o l'ampiezza o la fase.

N. 2 — Applicando un segnale a Bassa Frequenza in modo tale che ogni valore istantaneo di detto segnale faccia variare, attraverso opportuni circuiti, l'ampiezza della portante, senza variarne la frequenza.

N. 3 — La percentuale di modulazione è il rapporto percentuale tra la tensione di picco del segnale modulante, e la tensione di picco della portante.

N. 4 — Tre: la portante stessa, e due frequenze pari rispettivamente alla somma e alla differenza tra la prima e quella del segnale modulante. Queste frequenze costituiscono le bande laterali.

N. 5 — Nelle bande laterali.

N. 6 — Il sistema di modulazione di ampiezza è sensibile alle interferenze di segnali parassiti, come ad esempio scariche elettriche, campi elettromagnetici, ecc., i quali si manifestano sotto forma di disturbi uniti alla ricezione. Il sistema a modulazione di frequenza ne è invece immune.

N. 7 — I valori istantanei del segnale modulante provocano, mediante opportuni circuiti, variazioni proporzionali nella frequenza della portante.

N. 8 — Nella modulazione di fase, la fase istantanea della portante viene variata dal segnale modulante.

N. 9 — Perchè, con modulazione del 100%, allorchè i due segnali sono in fase, la potenza della portante modulata è doppia di quella della portante non modulata, mentre, allorchè sono in opposizione di fase, la portante modulata scende a zero. Se la potenza modulante fosse maggiore, la modulazione sarebbe superiore al valore massimo del 100%.

N. 10 — Perchè le variazioni di resistenza tra i granuli determinano variazioni di tensione già abbastanza elevate.

N. 11 — Adattare l'impedenza del microfono a quella dell'ingresso di uno stadio di amplificazione.

N. 12 — I tipi a nastro ed a bobina mobile.

N. 13 — Adattare all'impedenza d'ingresso di uno stadio di amplificazione, quella della linea di un microfono.

N. 14 — Perchè dette vibrazioni provocano variazioni proporzionali di capacità, le quali si traducono in impulsi elettrici di caduta di tensione ai capi di una resistenza.

N. 15 — Creare il campo magnetico costante, che viene tagliato dalla bobina o dal nastro a causa delle vibrazioni dovute alle onde sonore, producendo così impulsi di corrente.

N. 16 — Il primo riceve indifferentemente i suoni provenienti da tutte le direzioni, il secondo quelli provenienti da due sole, ed il terzo da una sola. Sempre però con una certa tolleranza.

N. 17 — Nel primo il campo magnetico è determinato dalla corrente che scorre nell'avvolgimento di eccitazione, nel secondo invece da un magnete permanente.

N. 18 — Trasformare i segnali elettrici in impulsi magnetici che, reagendo col campo magnetico costante, si traducono in vibrazioni meccaniche.

Caratteristica principale dei radioricevitori sin quì descritti ai fini di una loro eventuale realizzazione (senz'altro raccomandabile a chi si è avvicinato alla radio con l'inizio del Corso) è stata la loro modesta potenza e, soprattutto, la loro scarsa sensibilità e selettività. Questi fattori negativi hanno impedito di consigliare tali costruzioni come apparecchi radio da utilizzare effettivamente per un regolare ascolto. Lo studio abbastanza analitico che abbiamo fatto nei riguardi del più noto mezzo di amplificazione, la valvola, ci consente ora di affrontare, con cognizione di causa, i circuiti in cui la valvola è applicata, e, conseguentemente, gli apparecchi riceventi a valvole. La loro teoria, riferita ai ricevitori a stadi accordati, è stata sviluppata nella lezione precedente: la presente lezione vuole essere un'indicazione, o meglio un ausilio, per mettere il lettore a contatto con la pratica. Nello stesso tempo, questa volta, il ricevitore presentato, pur essendo sotto diversi aspetti ancora dilettantistico, offre una serie di prerogative che possono suggerire, in certi casi, un suo continuo impiego. Vediamone pertanto le caratteristiche esaminandone ed illustrandone lo schema.

Lo SCHEMA ELETTRICO

Il ricevitore comprende uno stadio rivelatore di rendimento molto elevato, uno stadio amplificatore di Bassa Frequenza, anch'esso molto efficace, ed una sezione d'alimentazione da rete a corrente alternata (**figura 1**).

Vediamo qui, a mezzo di V_1, applicato in pratica il sistema di rivelazione a reazione del quale abbiamo detto nella lezione precedente. A prescindere dalle considerazioni relative al metodo della superreazione (che può essere adottato solo sulle frequenze molto elevate), il sistema di rivelazione a reazione è senza dubbio ineguagliabile nel complesso di sensibilità che conferisce al ricevitore.

Il ritorno di segnale — caratteristico del sistema — viene effettuato da L_6 nei confronti di L_5: la prima può perciò essere definita bobina di reazione mentre la seconda è, evidentemente, quella di sintonia. La regolazione di P_1 che varia la tensione alla griglia schermo della valvola, fa si che questa si trovi ad un certo punto in condizioni prossime all'oscillazione. L'oscillazione naturalmente non deve essere innescata ma, tuttavia, P_1 deve essere ruotato per una posizione ad essa prossima: ciò equivale al più alto rendimento del dispositivo reattivo, vale a dire ad una sensibilità molto spinta.

Un commutatore a tre posizioni (tre vie) permette di includere L_1 o L_2 al posto di L_6 e, contemporaneamente L_3 o L_4 al posto di L_5. I diversi valori induttivi così selezionati predispongono l'apparecchio per altrettante gamme d'onda. Così, mentre con l'assieme L_6-L_5 avremo le caratteristiche di induttanza necessarie per l'esplorazione della gamma ad onde medie (200-600 metri, circa), con L_1-L_3 potremo ricevere le onde da 35 a 55 metri, e con L_2-L_4 quelle da 21 a 35 metri, vale a dire due gamme di onde corte.

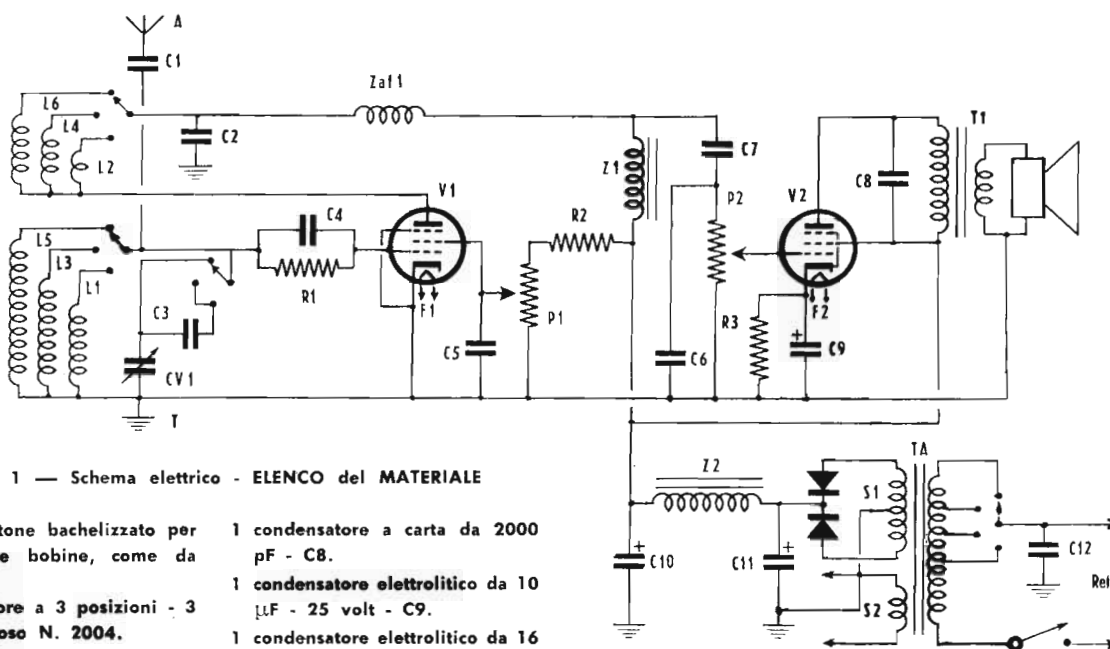



Figura 1 — Schema elettrico - ELENCO del MATERIALE

- Tubo di cartone bachelizzato per costruzione bobine, come da fig. 2.
- 1 commutatore a 3 posizioni - 3 vie - Geloso N. 2004.
- 1 condensatore variabile da 500 pF - CV1 - GBC N. 0/133.
- 1 condensatore a mica da 50 pF - C1.
- 1 condensatore a carta da 200 pF - C2.
- 1 condensatore a mica da 88 pF - (circa) C3.
- 1 condensatore a mica da 250 pF - C4.
- 1 condensatore a carta da 0,1 μF - C5.
- 1 condensatore a carta da 500 pF - C6.
- 1 condensatore a carta da 0,01 μF - C7.
- 1 condensatore a carta da 2000 pF - C8.
- 1 condensatore elettrolitico da 10 μF - 25 volt - C9.
- 1 condensatore elettrolitico da 16 μF - 350 volt - C10.
- 1 condensatore elettrolitico da 8 μF - 350 volt - C11.
- 1 condenastore a carta da 10.000 pF - 1500 volt - C12.
- 1 resistenza da 2 Mohm - 0,5 w - R1.
- 1 resistenza da 0,2 MΩ - 0,5 w - R2.
- 1 resistenza da 250 ohm - 2 w - R3.
- 1 potenziometro da 0,5 MΩ - lineare - P1.
- 1 potenziometro da 0,5 MΩ - con interruttore - P2.
- 1 impedenza di A.F. - Zaf1 - Geloso N. 559.
- 1 impedenza di B.F. - Z1 - Geloso N. 321/40.
- 1 raddrizzatore a ossido - 2 semionde - GBC E/43.
- 1 cambio-tensioni per 4 oppure 6 tensioni.
- 1 altoparlante da 16 cm - con trasformatore (T1) - per valvola 6AQ5 - Geloso N. SP160.
- 1 trasformatore di alimentazione - TA - Geloso N. 5505.
- 1 impedenza di filtro - 8H - 75 mA - Geloso N. 160 R.
- 1 presa Antenna-Terra - 2 zoccoli per valvole - Telaio di cm 20×14×6.
- 1 cordone con spina per rete - 1 cordone per altoparlante - viti - capicorda - stagno - filo per collegamenti - bottoni di comando - manopole graduate.

Il condensatore variabile CV_1 che viene a trovarsi in parallelo alle citate bobine di sintonizzazione (L_5-L_3-L_1) è unico e di un valore idoneo a coprire, con tutta la rotazione, l'intera gamma delle onde medie. Se un tale valore (500 pF) fosse posto in parallelo alle bobine per onde corte si coprirebbe invero una gamma più ampia di queste ultime, ma il notevole rapporto C/L farebbe sì che minimi movimenti della manopola di comando di CV_1 comporterebbero variazioni importanti di frequenza: in altre parole, l'accordo delle stazioni riuscirebbe oltremodo critico e, indirettamente, poco stabile. Per le onde corte quindi è consigliabile un più basso valore di capacità, che, distribuito su tutta la rotazione del variabile, porta ad un accordo più comodo e più sicuro. Vi sono condensatori con due sezioni di differente valore allo statore, come sappiamo, ma per evitare la necessità dell'acquisto di un nuovo condensatore ai lettori che si fossero già accinti alla costruzione degli apparecchi precedenti, siamo ricorsi alla semplice soluzione visibile nello schema. Ponendo due capacità in serie, — nel nostro caso CV_1 e C_3 — il lettore sa che la capacità risultante è data da $(CV_1 \times C_3) : (CV_1 + C_3)$.

Dato che la capacità risultante prescelta per le gamme delle onde corte deve essere di 75 pF, l'espressione di cui sopra deve dare per risultato 75. Pertanto, noto il valore di CV_1 in 500 pF (condensatore tutto chiuso) avremo:

$$(CV_1 \times C_3) : (CV_1 + C_3) = 75$$

$$(500 \times C_3) : (500 + C_3) = 75$$

$$500 \times C_3 = 75\,(500 + C_3)$$

$$500 \times C_3 = (75 \times 500) + (75 \times C_3)$$

$$(500 \times C_3) - (75 \times C_3) = 75 \times 500$$

$$425 \times C_3 = 37.500$$

$$C_3 = 37.500 : 425 = 88{,}2 \text{ pF.}$$

Così, ponendo in serie al condensatore variabile da 500 pF una capacità fissa di 88 pF, faremo sì che il valore massimo raggiungibile sia di 75 pF. L'accordo sulle onde corte ne resterà molto agevolato e noi avremo utilizzato un variabile a sezione unica.

Naturalmente, disponendo di un condensatore a due sezioni (occorre però che queste siano di 425 e 75 pF) si potrà fare a meno di C_3 predisponendo la commutazione

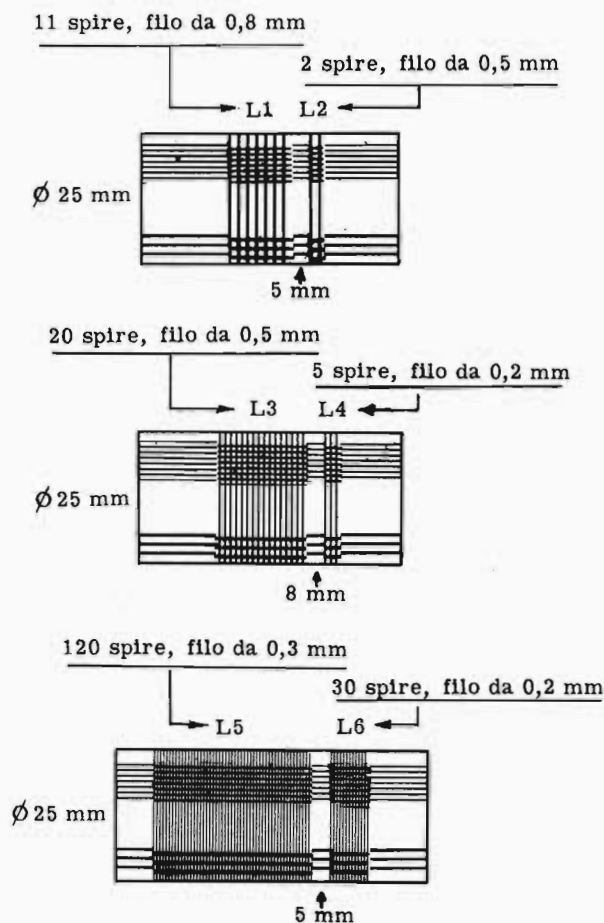



Fig. 2 — Dati costruttivi dell'induttanza.

Il tubetto delle due bobine per onde corte sarà lungo 4 cm: quello della bobina per onde medie, 5 cm. L'inizio dell'avvolgimento di L1 (lato sinistro della figura) va collegata a massa: la fine avvolgimento va, ovviamente, al proprio ancoraggio sul commutatore (griglia). L'inizio di L2 (lato sinistro) va al commutatore (placca) e la fine alla tensione positiva. Quanto sopra vale anche per le altre induttanze.
L1 sarà avvolta a spire spaziate in modo da occupare 15 mm; L3 ed L5 saranno a spire affiancate e così pure L2 - L4 - L6. Gli altri dati sono riportati presso le figure. Gli stessi fili di avvolgimento possono servire per il collegamento esterno alla bobina.

in modo da sommare (unione in parallelo) le due parti per le onde medie, ed includere solo quella a 75 pF nella ricezione delle onde corte.

La rivelazione vera e propria, a parte il fenomeno della reazione, avviene col sistema a falla di griglia (C_4-R_1) già illustrato. Per terminare in merito alla sezione a radiofrequenza diremo che una notevole semplificazione costruttiva è apportata dalla omissione di avvolgimenti primari d'aereo: si è potuto evitare il ricorso ad una quarta sezione del commutatore. Il collegamento diretto dell'antenna, tramite C_1, rende però più determinante il tipo di aereo prescelto: per questo motivo non sarà male sperimentare, per C_1, valori diversi onde rendersi conto della capacità più opportuna in relazione alle proprie condizioni di installazione. In linea di massima, valori più bassi contribuiscono ad un aumento della selettività a volte necessario in quanto la soluzione adottata porta ad una selettività inferiore nei confronti del circuito con primario d'aereo.

Compito di C_2 è di avviare a massa la radiofrequenza eventualmente presente su quello che deve essere il lato cosidetto « freddo » delle induttanze di reazione. Zaf_1 contribuisce poi a chè la radiofrequenza non s'inoltri all'amplificazione di Bassa Frequenza: essa è un'impedenza e pone ostacolo al passaggio.

Il carico della valvola rivelatrice (ai capi del quale si raccoglie il segnale) è costituito dall'impedenza di Bassa Frequenza Z_1. Con tale impedenza raggiungiamo il duplice scopo di offrire alla valvola un carico assai elevato (superiore spesso a quello del primario di un trasformatore) e, nello stesso tempo, consentirle un alto valore nella tensione di placca (molto più alto che se, in luogo di Z_1, avessimo, come carico, una resistenza di adeguato valore).

Il segnale rivelato, privo di qualsiasi traccia di radiofrequenza, tramite C_7 perviene ai capi di P_2 il cui cursore, collegato alla griglia di V_2 fa sì che alla stessa possa essere trasferito tutto o in parte il segnale stesso (P_2 è quindi un regolatore manuale di volume).

La valvola V_2 — pentodo di amplificazione del tipo detto « finale » — può fornire notevole potenza: di entità tale da consentire l'impiego di un altoparlante di medio diametro (12-16 cm). Essa è polarizzata sul catodo (a mezzo di R_3 che provoca una caduta di tensione in quanto in essa deve passare tutta la corrente di placca consumata dalla valvola, nonchè quella della griglia-schermo). Per far sì che il potenziale del catodo possa essere considerato a massa nei riguardi della Bassa Frequenza, è inserito C_9, condensatore di elevata capacità, del tipo elettrolitico, che elimina qualsiasi fluttuazione ai capi di R_3.

Il carico di V_2 è, evidentemente, il primario del trasformatore d'uscita T_1. Ai suoi capi si può notare la presenza di C_8: si tratta di un condensatore che elimina una parte delle frequenze più alte dal trasferimento al secondario, rendendo spesso la riproduzione finale più gradevole. L'azione di C_8 può considerarsi quella di un correttore di « tono » del tipo fisso. Va da sè che questo condensatore può anche essere omesso, come può esserne variato il valore, scegliendo quello che, ad orecchio, sembra soddisfi meglio il gusto dell'ascoltatore. T_1 dovrà presentare una impedenza primaria di 5.000 ohm (carico adatto a V_2) ed una secondaria di pochi ohm (pari all'impedenza della bobina mobile dell'altoparlante adottato). Quasi sempre T_1 è montato sul cestello dell'altoparlante (e non sullo chassis del ricevitore) e con esso è anche C_8.

Non ci rimane — sull'argomento schema — che dare qualche cenno riguardante la sezione di alimentazione. La tendenza moderna ci ha suggerito di eliminare la valvola raddrizzatrice sostituendola con due elementi ad ossido, mediante i quali vengono raddrizzate entrambe le semionde. *TA* fornisce, con S_1 l'alta tensione necessaria nonchè, con S_2, una tensione per l'accensione di V_1 e V_2 (F_1 ed F_2). Un lato di questo secondario, così come il centro dell'avvolgimento dell'alta tensione, è connesso a massa. Il sistema di filtraggio per livellare la tensione raddrizzata è convenzionale; vi provvedono C_{11}-Z_2-C_{10}. Dal lato del primario di *TA* un cambio-tensioni permette l'adattamento alle diverse tensioni di rete, mentre un condensatore, C_{12}, non permette l'inoltro (deviandole a massa) ad eventuali tensioni di disturbo presenti sulla rete che si traducono, se non eliminate, in un noioso ronzio.

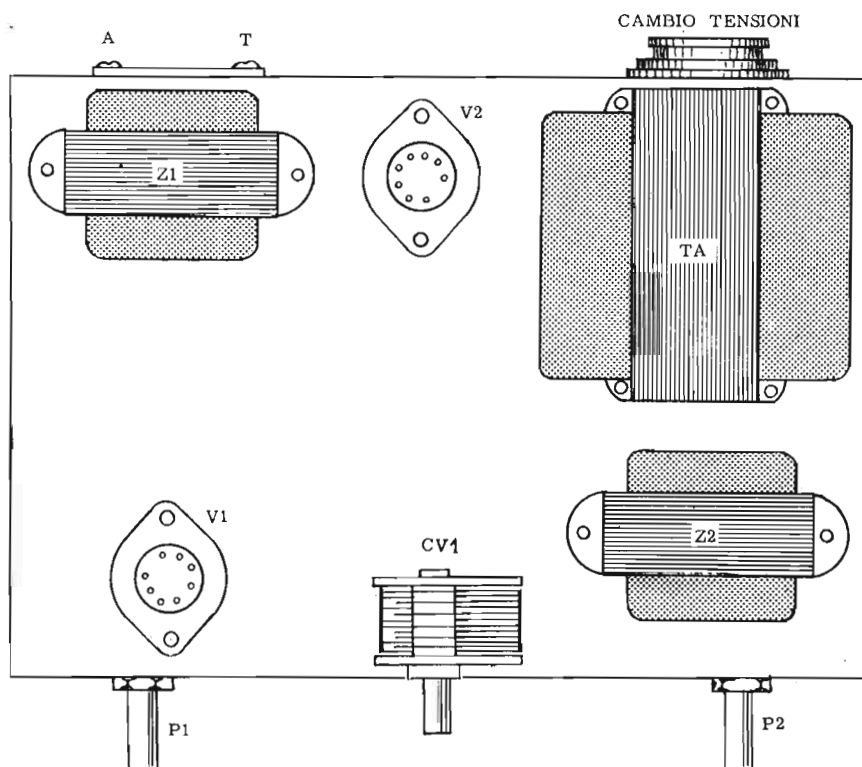



Fig. 3 — Suggerimento per la predisposizione delle parti su di un telaio di alluminio o ferro, di cm 20×14, alto 6 cm. Se proprio necessario, si può fare in modo che l'assieme occupi minore spazio avvicinando i diversi componenti, ma lasciandoli reciprocamente collocati così come indicato. Il lato frontale sarà munito di pannello metallico.

MONTAGGIO

La realizzazione dell'apparecchio prevede la costruzione delle bobine di induttanza. A questo scopo si troveranno tutte le indicazioni necessarie alla **figura 2.** I disegni del telaio o chassis con la dislocazione dei componenti possono essere considerati, in certo qual modo, orientativi. Si possono apportare infatti, senza pregiudizio, molte varianti, e tutto dipenderà dal tipo di materiale prescelto nonchè dal fatto se si ricorre a chassis già disponibile o meno. Ciò che conta è che il commutatore di gamma e le relative bobine siano tra loro vicine e non molto distante da essi sia V_1. Stanti le possibili varianti, abbiamo ritenuto superfluo disegnare un completo piano dei collegamenti e la posizione di resistenze e condensatori fissi.

I diversi comandi saranno muniti di bottoni o manopoline: una manopola grande, graduata, è opportuno venga usata per CV_1 perché così sarà più agevole la ricerca e l'individuazione delle stazioni. Si noti che l'interruttore generale di accensione è abbinato, nel comando, al potenziometro regolatore di volume, P_2. Non si dimentichi di rispettare la polarità dei condensatori elettrolitici (C_9, C_{10}, C_{11}).

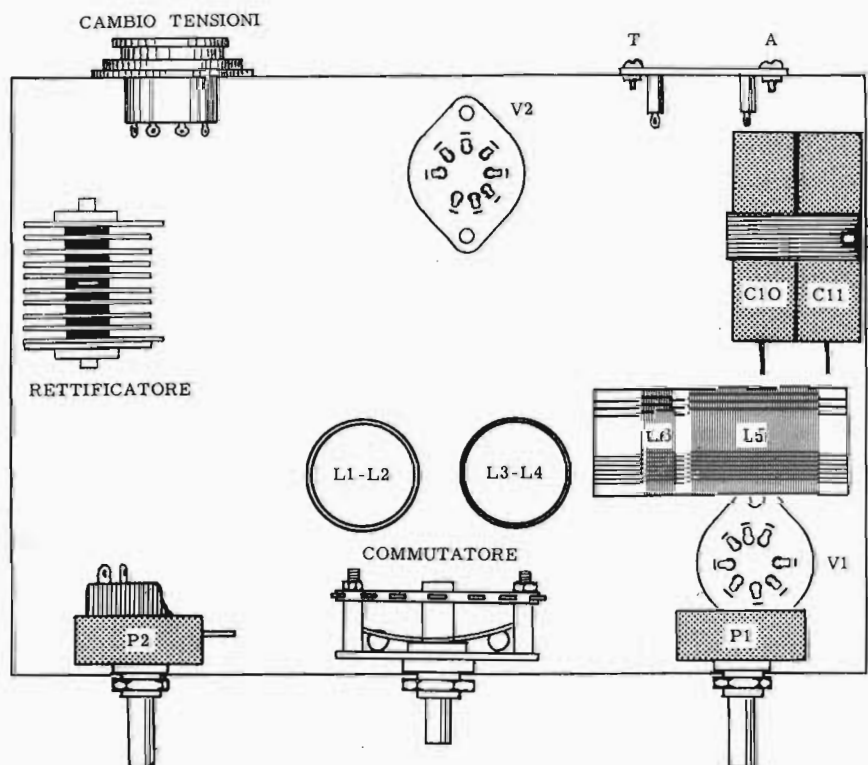



Fig. 4 — Veduta all'interno dello chassis di cui sopra. Il comando di gamma (commutatore) rimane sotto a quello del condensatore variabile di sintonia CV1: è bene perciò dotare il commutatore di bottone piccolo per non impedire l'uso di una manopola grande per CV1. I condensatori elettrolitici C10 e C11 possono essere anche del tipo tubolare.

I collegamenti di griglia, contenuti per entrambe le valvole nella minima lunghezza possibile, verranno tenuti lontano dai collegamenti dei filamenti, onde evitare accoppiamenti induttivi che potrebbero essere causa di rumore di fondo.

Con i condensatori a carta, si farà in modo che il terminale uscente dal lato contrassegnato con un anello intorno all'involucro, sia connesso al punto avente minore impedenza verso massa. Ad esempio, nel caso di C_3, tale terminale sarà a massa, mentre nel caso di C_7, esso corrisponderà al lato positivo dell'alta tensione.

Come per le altre apparecchiature realizzate, una volta terminato il montaggio, ed installate le varie manopole di comando, si controllerà con la massima cura che non vi siano errori di collegamento, che le saldature siano state eseguite alla perfezione, e che nessun collegamento sia stato dimenticato.

Se tutto risulta in ordine, si può provvedere al collaudo ed alla messa a punto.

MESSA a PUNTO e FUNZIONAMENTO

La prima operazione consiste nel controllare — ad apparecchio spento — che non vi siano corto-circuiti ai capi dell'alta tensione. Con l'ohmetro sulla portata più elevata, si misurerà la resistenza ai capi di C_{11}, che deve essere — alla fine del lento ritorno dell'indice alla posizione di partenza — dell'ordine di 500 kohm. Tale è il valore della resistenza di dispersione di C_{11} e C_{10} in parallelo tra loro attraverso Z_2.

Ciò fatto (le valvole non devono ancora essere inserite), si innesterà la spina nella presa di corrente, non senza aver controllato che il cambio-tensioni sia regolato sulla tensione disponibile. Una volta acceso l'apparecchio, si controllerà col « tester » in posizione « Volt C.A. », che ai capi del secondario S_1 di TA sia presente una tensione di circa 560 volt, e che ai capi dei due filamenti sia invece presente una tensione di circa 6 volt. Si innesteranno le valvole, si riaccenderà l'apparecchio, e si misurerà la tensione ai capi di C_{11}. Detta tensione (corrente continua) sarà all'inizio di circa 350 volt, e, in seguito all'accensione dei catodi delle valvole, scenderà al valore di 250 volt circa.

Usufruendo di un'antenna di fortuna o dell'antenna definitiva se questa è già stata installata, non sarà difficile captare — ruotando CV_1 — qualche emissione. E' preferibile iniziare queste prove sulla gamma delle onde medie. A proposito dell'antenna diremo subito che, nel caso si voglia adibire il ricevitore stabilmente alla ricezione, è opportuno prevederne un tipo esterno. In tal caso, specialmente sulle onde corte, l'apparecchio può permettere risultati veramente sorprendenti grazie allo sfruttamento della reazione.

Individuata una stazione emittente con CV_1, si osserverà come la posizione di P_1 influisca sulla ricezione. La stazione sarà preceduta e seguita (nella rotazione del variabile) da due « fischi » più o meno accentuati a seconda della posizione del potenziometro. Quest'ultimo poi dovrà assumere posizioni diverse in dipendenza dell'intensità del segnale in arrivo. Si constaterà che la sensibilità più alta corrisponde al limite dell'innesco e non sarà difficile, dopo un po' di prove, manovrare il comando di P_1 nel modo più idoneo.

Le prove di cui sopra saranno eseguite con P_2 a metà o a tre quarti della sua rotazione. Questo potenziometro regola solo il volume sonoro e non ha influenza sulla sensibilità e sull'accordo, mentre P_1 può rendere necessario un leggero ritocco contemporaneo di CV_1.

Nei confronti di una emittente locale che impedisca l'ascolto di altre stazioni per la sua posizione di frequenza e per la sua potenza, si può provvedere con un filtro d'antenna. Si veda a pagina 328 quanto è già stato esposto su questo argomento.

Abbiamo supposto sin qui che tutto si sia dimostrato regolare immediatamente, ma — specialmente se il costruttore è alle prime armi — possono verificarsi degli errori; è augurabile che essi non siano gravi, o per lo meno tali da compromettere l'integrità di qualche componente. Se non si è troppo sicuri della propria abilità non si tema di verificare troppo il lavoro, prima di dare tensione.

Nel caso che non si pervenga alla ricezione di stazioni, per individuarne la causa si analizzerà il montaggio in modo razionale. Si consideri sempre il ricevitore suddiviso nelle sue tre sezioni e si controlli l'una indipendentemente dall'altra.

La prima fase del controllo riguarda le tensioni di alimentazione. Esse devono essere presenti laddove, secondo lo schema elettrico, è necessario siano: elettrodi delle valvole, filtro di alimentazione.

Se la sezione di alimentazione è corretta e funzionante, si verifichi, in modo grossolano ma sufficientemente utile, l'amplificazione di Bassa Frequenza, toccando con un dito il cursore di P_2, allorchè lo stesso è ruotato per il massimo volume. Ciò equivale ad introdurre sulla griglia di V_2 una tensione di ronzio che la valvola deve amplificare fornendo all'altoparlante un apprezzabile segnale.

Per ultimo, con alimentazione e Bassa Frequenza in ordine, si controlli — persistendo l'anomalia — la rivelatrice ed i suoi circuiti. Come si è fatto per la griglia di V_2 si agisca sulla griglia di V_1 che, al contatto esterno della mano, deve provocare un forte ronzio allo altoparlante. Una causa di mancato funzionamento della reazione può risiedere nei collegamenti alle induttanze: in caso dubbio, si invertano tra loro i capi della bobina di reazione.

Volendo, può essere utilizzato lo stadio di amplificazione B.F. come amplificatore di segnale fonografico: sarà sufficente portare — con cavetto schermato — tale segnale proveniente dal fonorivelatore, al lato superiore di P_2, mentre lo schermo del conduttore sarà connesso a massa su P_2 stesso, al lato inferiore.

Il ricevitore è progettato in modo che non sono previste per esso (salvo filtro di antenna di cui si è detto) modifiche che lo integrino o lo migliorino. Ulteriori stadi sarebbero superflui. Dopo tale apparecchio il lettore potrà cimentarsi con le supereterodine, previo studio della relativa teoria, (che sarà oggetto di apposita lezione), poichè questo ricevitore rappresenta un assieme ancora interessante per la sua semplicità; quelli a stadi accordati sono stati da tempo abbandonati e non è il caso di effettuarne la costruzione.

per RILEGARE

le lezioni del "Corso di RADIOTECNICA„ potete ora disporre di una apposita, razionale copertina - imitazione pelle - con diciture in oro.

La copertina viene fornita con tutto il necessario atto a formare un vero e proprio volume: non si tratta quindi di un semplice raccoglitore, ma di un sistema, brevettato, che consente a chiunque di rilegare, da se, i diversi fascicoli.

Questa copertina prevede la raccolta di 26 fascicoli (metà Corso) - volume 1° -

POTETE EVITARE QUALSIASI ALTRA SPESA PER FORMARE IL VOSTRO VOLUME

L'INVIO VIENE EFFETTUATO A MEZZO POSTA E LE RICHIESTE — ACCOMPAGNATE DALL'IMPORTO DI LIRE 880 + 100 (RIMBORSO SPESE SPEDIZIONE) = **LIRE 980** - DEVONO ESSERE INDIRIZZATE DIRETTAMENTE AL **« CORSO DI RADIOTECNICA »** - **VIA DEI PELLEGRINI 8/4 - MILANO.**

L'IMPORTO DI LIRE 980 PUO' ESSERE VERSATO SUL CONTO CORRENTE POSTALE N. 3/41203, MILANO. — SI PREGA DI SCRIVERE IN MODO MOLTO CHIARO IL PROPRIO INDIRIZZO.

PER I SUCCESSIVI 26 FASCICOLI E' IN PREPARAZIONE LA COPERTINA CON LA DICITURA **« VOLUME II° »**. POTRA' ESSERE ACQUISTATA TRA QUALCHE TEMPO E, DATO IL PARTICOLARE SISTEMA, I FASCICOLI VI **POTRANNO ESSERE RILEGATI OGNI SETTIMANA.**

ALLA FINE DEL **« CORSO »** E' PREVISTA LA PUBBLICAZIONE DI UNA « ERRATA CORRIGE » E DI INDICI MOLTO UTILI E PRATICI PER LA RICERCA DEI VARI ARGOMENTI.

Anche se possedete già dei fascicoli del « Corso di RADIOTECNICA »
VI POTETE ABBONARE

Calcolando un importo di lire 120 (centoventi) per ogni fascicolo in vostro possesso, detraete l'ammontare dalla quota di abbonamento. **Inviando la differenza** precisate i singoli numeri dei fascicoli esclusi.
Se vi interessano invece fascicoli arretrati affrettatevi a richiederli prima che qualche numero risulti esaurito. Attualmente possiamo spedire i fascicoli finora pubblicati, **a lire 150 cadauno** in luogo di lire 300 (prezzo normale degli arretrati).

Versamenti sul conto corrente postale N. 3/41.203 - Milano.

corso di RADIOTECNICA

pubblicazione settimanale 4 - 11 marzo 1961 un fascicolo lire 150 23° numer

corso di

RADIOTECNICA

settimanale a carattere culturale

Direzione, Amministrazione, Pubblicità:
Via dei Pellegrini 8/4 - Telef. 593.478

MILANO

Ogni fascicolo — contenente 3 lezioni — costa lire 150, acquistato alle edicole.

Se l'edicola risulta sprovvista, o si teme di rimanere privi di qualche numero, si chieda invio settimanale direttamente al proprio domicilio a mezzo abbonamento.

Il versamento per ricevere i 52 fascicoli costituenti l'intero Corso è di lire 6500 + I.G.E. = lire 6630. A mezzo vaglia postale, assegno bancario, o versamento sul conto corr. postale 3/41.203 del « Corso di RADIOTECNICA » - Via dei Pellegrini 8-4 - Milano.
In ogni caso, scrivere in modo molto chiaro e completo il proprio indirizzo.

L'abbonamento può essere effettuato in qualsiasi momento; si intende comprensivo delle lezioni pubblicate e dà diritto a ricevere tali lezioni, che saranno inviate con unica spedizione.

Estero: abbonamento al Corso, Lit. 8.500. ($ 15). Numeri singoli Lit. 300 ($ 0,50).

Per i cambi di indirizzo durante lo svolgimento del Corso, unire lire 100, citando sempre il vecchio indirizzo.

Fascicoli singoli arretrati — se disponibili — possono essere ordinati a lire 300 cadauno.
Non si spedisce contrassegno.

Distribuzione alle edicole di tutta Italia: Diffus. Milanese . Via Soperga, 57 - Milano.

Direttore responsabile: Giulio Borgogno.
Autorizzaz. N. 5357 - Tribunale di Milano.
Stampa: Intergrafica S.r.l. - Cologno Monzese.

La Direzione non rivende materiale radio; essa può comunicare, se richiesta, indirizzi di Fabbricanti, Importatori, Grossisti ecc. in grado di fornire il necessario ed ai quali il lettore può rivolgersi direttamente.

Alla corrispondenza con richiesta di informazioni ecc. si prega allegare sempre il **francobollo per la risposta.**

Parte del testo e delle illustrazioni è dovuta alla collaborazione del Bureau of Naval Personnel, nonchè al Dept. of the Army and the Air Force - U.S.A.

A chi può essere utile questo Corso? Anzitutto — stante la sua impostazione — il Corso, basato sull'esposizione in forma a tutti accessibile, della radiotecnica, dai suoi elementi basilari alla evoluzione più recente, rappresenta la forma ideale per tutti coloro che intendono dedicarsi all'elettronica, sia come forma ricreativa sia — soprattutto — per l'acquisizione di una professione specializzata che possa procurare loro una posizione di privilegio in seno alla società odierna.

Anno per anno, la nostra civiltà si indirizza sempre più verso questa meravigliosa, si potrebbe dire fascinosa, elettronica, che nel modo più evidente consente sviluppi impensati, progressi grandiosi e una rapida evoluzione di tutti gli altri rami dello scibile che essa tocca e influenza.

L'industria, tutta l'industria, nel senso più ampio, da quella elettrotecnica a quella meccanica, alla metallurgica, alla chimica ecc., con i suoi laboratori di ricerca e le sue fabbriche richiede, e richiederà sempre più, con un ritmo rapidamente crescente, tecnici specializzati con conoscenza dell'elettronica, tecnici specificatamente elettronici e persino operai e impiegati di ogni ordine e categoria con cognizioni di elettronica.

Si può dire che anche le branche commerciali, quelle dei trasporti e persino quelle amministrative con le recenti introduzioni delle calcolatrici, abbisognano di personale che conosca i principi dell'elettronica, le macchine relative, il loro pieno sfruttamento, la eventuale riparazione ecc. e, quanto più in modo completo, quanto meglio.

Nasce, da una tale situazione, una logica conseguenza: per la scelta di una professione o di un mestiere, per un miglioramento della propria posizione sociale, per l'intrapresa di una libera attività o anche per la sola acquisizione di cognizioni che indubbiamente verranno oltremodo utili, è quanto mai opportuno riflettere se non sia conveniente dedicare un po' di tempo allo studio di questa scienza che ha tra l'altro il pregio di rendersi immediatamente attraente, concreta, accessibile e foriera di moltissime soddisfazioni.

A questo scopo appunto, e con questi intenti, è stato redatto questo Corso.

Non mancano invero altri corsi (specie per corrispondenza) o scuole di radiotecnica, nè mancano (sebbene siano in numero del tutto inadeguato) scuole statali o pareggiate ma la struttura e l'impostazione che caratterizzano queste 156 lezioni sono alquanto particolari, presentando non pochi vantaggi sulle diverse altre forme di cui si è detto.

Anzitutto vogliamo porre in evidenza **il fattore economico.**

Frequentare regolarmente, durante tutto l'anno, una scuola è certo il modo più logico — anche se non il più rapido — per apprendere ma, tralasciando il fatto che rarissimi sono gli Istituti di radiotecnica, è a tutti possibile dedicarsi esclusivamente, e per l'intero anno, allo studio? Noi riteniamo che chi può farlo costituisca oggi assai più l'eccezione che la regola. Ciò significa infatti poter disporre liberamente del proprio tempo senza avere la necessità di un contemporaneo guadagno: il nostro Corso permette a chiunque di studiare a casa propria, nelle ore libere dal lavoro, senza abbandonare o trascurare quest'ultimo. Ciò caratterizza invero anche altri corsi, ma il vantaggio economico diviene notevole ed evidentissimo se si considera che di fronte all'esborso, anche se rateale, di quasi 80.000 lire che i corsi per corrispondenza richiedono, seguendo il nostro Corso la spesa in un anno risulta di poco più di 7500 lire (150 lire alla settimana presso un'edicola) o di 6630 lire totali, con recapito postale, settimanale, delle lezioni a domicilio.

E' superfluo dire che la Modulazione di Frequenza, i transistori, i circuiti stampati, la trasmissione, il telecomando ecc. sono argomenti integrali del Corso e non costituiscono motivo di corsi speciali, aggiunti o particolari.

Le lezioni di questo Corso — a differenza di molte altre — non sono stampate con sistemi di dispensa, a ciclostile, o con sistemi più o meno analoghi, derivanti cioè da un originale battuto a macchina da scrivere; esse sono stampate in uno stabilimento grafico, con chiari caratteri tipografici da cui deriva una assai più agevole lettura e — fattore certamente di non secondaria importanza — un contenuto molto più ampio, corrispondendo una pagina a stampa a tre o quattro pagine di quelle citate. Il lettore avrà, alla fine del Corso, un volume di ben 1248 pagine di grande formato!

Chiunque, indipendentemente dall'età, dalla professione e dalle scuole compiute **può seguire il Corso.** Alle esposizioni teoriche si abbinano numerose, attraenti, istruttive ed utili descrizioni che consentono la realizzazione di ricevitori, amplificatori, strumenti vari e persino di trasmittenti su onde corte.

A questo proposito è sintomatico il fatto che la Direzione non vuole assolutamente assumere la fisionomia di un fornitore o commerciante di materiale radio, rivendendo agli allievi le parti necessarie. Il materiale occorrente l'interessato può acquistarlo dove e come meglio crede e, assai spesso anzi, già ne dispone. Viene così evitato l'acquisto forzoso, caratteristico più o meno di tutti gli altri corsi.

Anche chi è già radiotecnico, anche chi ha seguito o segue altri corsi troverà il massimo tornaconto in questo completo ed aggiornato lavoro. Molte nozioni, è logico, saranno note, altre un po' meno e sarà utile rinfrescarle, e il tutto infine costituirà un manuale di consultazione, prezioso tanto per la teoria esposta quanto per i numerosi schemi, per le tabelle, per i grafici, gli elenchi, i dati, il vocabolario dei termini ecc.

Concludendo, si può affermare che questo **Corso di Radiotecnica** oltre che come insegnamento graduale si presenta come **enciclopedia e rivista assieme** ciò che permette di formare — con modestissima spesa — **il più completo, ricco, utile e pratico volume di radiotecnica di cui sia dato oggigiorno disporre.**

OSCILLATORI

PRINCIPI di FUNZIONAMENTO degli OSCILLATORI ad ALTA FREQUENZA

Uno dei requisiti essenziali per un assieme atto alle radiocomunicazioni è la produzione delle oscillazioni a radiofrequenza. In un primo tempo si usarono a tale scopo degli alternatori rotanti — simili in sostanza a quelli usati tuttora per la produzione della tensione alternata di rete, a 50 Hertz — e si riuscì a produrre, con tale sistema, frequenze fino a 50 kHz. E' ovvio, tuttavia, che tali sistemi meccanici non potevano prestarsi per la generazione delle frequenze assai più alte necessarie nelle apparecchiature elettroniche.

Sfruttando la particolare facoltà della valvola elettronica di amplificare, si passò ben presto ad un suo impiego quale generatrice di oscillazioni, vale a dire di corrente alternata.

Per fare in modo che uno stadio di amplificazione oscilli, il circuito d'uscita (placca) deve essere accoppiato al circuito di entrata (griglia) in modo tale che una parte della tensione d'uscita venga riportata allo ingresso ed applicata in fase adatta a rinforzare il segnale di griglia. La parte di segnale riportata all'ingresso, detta di « reazione », viene amplificata e, allorchè la sua entità supera un determinato valore « critico », si producono delle oscillazioni.

Il lettore ricorderà che, or non è molto, si è discusso di una disposizione circuitale del genere allorchè si è parlato della rivelazione detta appuno a reazione. In quel caso — tuttavia — il citato punto critico non deve essere superato perchè lo scopo non è quello di provocare l'oscillazione.

La maggior parte degli oscillatori sono progettati in modo che la tensione d'uscita prodotta presenti la forma sinusoidale. Un circuito *LC* sintonizzato costituisce il dispositivo effettivamente oscillante: gli altri componenti hanno il compito di riportare alla griglia una parte del segnale di placca.

Prima di analizzare i vari circuiti degli oscillatori, consideriamo un principio di grande importanza che è alla base del funzionamento di molti tipi di amplificatori. Se una parte dell'energia presente nel circuito di placca viene riportata al circuito di griglia, come si è accennato sopra, si dice che l'amplificatore è provvisto di reazione. L'energia riportata in griglia può essere sia in fase, che in opposizione di fase rispetto al segnale della griglia stessa.

Come abbiamo visto alla lezione 65ª, la reazione in fase aumenta l'intensità del segnale, e si chiama « rigenerativa », o reazione « positiva », quella in opposizione di fase ne diminuisce l'intensità, e diventa « negativa » o « degenerativa » o ancora « controreazione ».

I circuiti rigenerativi possono essere impiegati per aumentare il guadagno di un amplificatore; quelli degenerativi possono invece migliorare la stabilità e la qualità del segnale d'uscita.

Il principio delle « oscillazioni » nei circuiti oscillanti è già stato considerato alla lezione 35ª; riprendiamo qui l'argomento con un'analisi dettagliata dei vari circuiti.

Osserviamo il circuito illustrato alla **figura 1**, che consiste in un circuito risonante in parallelo collegato ad una batteria mediante un interruttore. Se quest'ultimo viene chiuso per un breve tempo, il condensatore assume un potenziale positivo sull'elettrodo *A* e negativo sull'elettrodo *B*. Allorchè l'interruttore viene riaperto, la capacità si scarica attraverso la bobina in un tempo determinato dal valore dell'induttanza e da quello della capacità stessa: la corrente di scarica crea un campo magnetico attorno alla bobina di induttanza. Non appena il condensatore è completamente scarico, il campo magnetico della bobina cessa. Questo fenomeno però, come sappiamo, provoca nella bobina, per la sua natura induttiva, una nuova tensione che tende a mantenere la corrente nella direzione originale.

A causa di ciò, il condensatore si carica con polarità inversa, per cui gli elettrodi *A* e *B* assumono potenziali rispettivamente negativo e positivo. Non appena il campo di cui sopra è nuovamente cessato, il condensatore si scarica di nuovo attraverso la bobina con una corrente che scorre in direzione opposta rispetto a quella originale, creando un nuovo campo magnetico — a sua volta di polarità opposta — intorno alla bobina. Il ciclo si ripete, e si continuerebbe ad avere oscillazione se nel circuito non si verificassero inevitabili perdite. La resistenza della bobina e la dispersione del condensatore diminuiscono progressivamente, ogni ciclo, l'intensità della corrente oscillatoria, finchè la stessa viene ridotta a zero. La forma dell'oscillazione in un caso del genere è quella di un'« onda smorzata », ed il motivo di tale definizione è evidente, in quanto le oscillazioni iniziano con un'ampiezza massima che diminuisce progressivamente.

Le oscillazioni presenti nel circuito possono essere rese continue o « persistenti » mediante un'azione meccanica sull'interruttore, che determini la ricarica nel

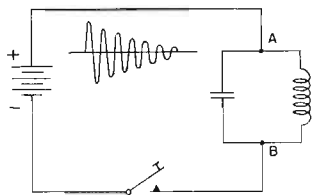



Fig. 1 - Circuito elementare per la produzione di oscillazioni smorzate. La chiusura e l'apertura dell'interruttore determinano una serie di oscillazioni.

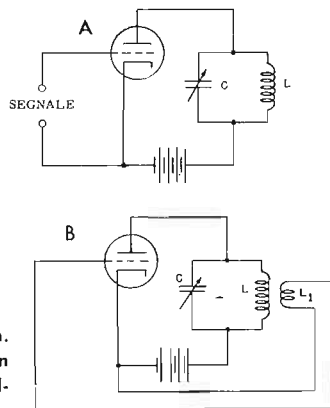



Fig. 2 - Principio dell'oscillatore a valvola. In A, le oscillazioni sono innescate da un segnale esterno: in B, sono provocate dalla tensione indotta da L in L1.

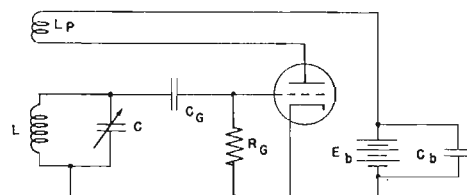



Fig. 3 - Circuito di un oscillatore con bobina eccitatrice. Il circuito di griglia è in tutto analogo a quello di uno stadio amplificatore con polarizzazione a falla di griglia. La bobina di placca, L_p, induce in L una tensione determinata dal medesimo segnale di griglia, amplificato. Se la polarità è corretta, i due segnali sono in fase, e la valvola oscilla senza eccitazione esterna.

condensatore in corrispondenza del picco di ogni ciclo. Tale metodo è, ovviamente, inadatto ad una produzione di oscillazioni a frequenza elevata, perchè l'azione sull'interruttore dovrebbe essere troppo rapida e frequente.

L'energia necessaria per mantenere le oscillazioni può invece essere fornita al circuito in maniera molto più conveniente, sostituendo l'interruttore con una valvola termoionica, come illustrato alla **figura 2-A**. La valvola funziona essenzialmente come un interruttore elettronico. E' necessario applicare alla griglia un segnale al momento opportuno, avente una frequenza pari a quella di risonanza del circuito oscillante *LC*, affinchè la batteria possa, tramite la valvola, fornire l'energia nel giusto momento in cui è necessaria.

Il circuito di figura 2-A funziona come un amplificatore; vale a dire che il segnale presente in uscita (placca), è maggiore di quello presente in entrata. Se inseriamo nel circuito una seconda bobina (L_1) accoppiata alla prima nel modo illustrato in **B** della medesima figura, grazie al principio del trasformatore, viene indotta in essa dalla bobina *L* una tensione. Questa tensione può essere applicata alla griglia, e ciò evita così la necessità di un segnale esterno. Se i terminali di L_1 vengono invertiti, si inverte la polarità del segnale riportato in griglia; se la polarità è corretta, l'oscillatore risulta *autoeccitato*, per cui continua ad oscillare finchè è presente la tensione di alimentazione.

Se il circuito venisse aperto in un punto qualsiasi, in modo da troncare le oscillazioni, e venisse poi chiuso nuovamente, ricomincerebbe ad oscillare immediatamente da solo, poichè la prima, sia pur minima perturbazione, verrebbe immediatamente amplificata, al punto da dare inizio alle oscillazioni nel modo già esaminato.

SISTEMI di POLARIZZAZIONE di un OSCILLATORE

Abbiamo visto che è possibile fare oscillare una valvola grazie alla sua attitudine ad amplificare. E' logico supporre che la sua amplificazione possa essere tanto in classe *A*, che in classe *B* o *C*. Tale supposizione è avvallata dal fatto che possiamo riscontrare, a volte, nei comuni radioricevitori, oscillazioni su tutta la gamma delle frequenze usate per le radiotrasmissioni. Sappiamo inoltre che le valvole amplificatrici di tali apparecchi funzionano in classe *A*.

L'effetto « volano » del circuito oscillante *LC* mantiene le oscillazioni se una certa energia — anche in minima quantità — viene applicata durante il picco di ogni ciclo, onde assicurare la completa ricarica della capacità compensando così le perdite dovute alla resistenza delle bobine ed al dielettrico delle capacità presenti nel circuito.

E' necessario che la corrente di placca scorra durante una brevissima parte del ciclo, fornendo quindi solo brevi impulsi di energia al circuito oscillante. In tali condizioni si ottiene l'alta efficienza di un circuito funzionante in classe *C*. Occorre notare che la potenza di uscita di un amplificatore in classe *C*, se questo è usato come oscillatore, viene ridotta dell'ammontare di potenza necessario per pilotare la griglia.

La polarizzazione di quest'ultima, viene generalmente ottenuta col metodo della autopolarizzazione (falla di griglia), senza cioè l'aggiunta di una polarizzazione fissa. Questa soluzione permette l'*autoinnesco* del circuito: non appena è presente la tensione anodica, scorre la corrente di placca e l'oscillatore si porta automaticamente nelle condizioni necessarie ad un funzionamento soddisfacente.

FREQUENZA di OSCILLAZIONE

La frequenza per la quale si verificano le oscillazioni in un circuito oscillatore a valvola, è determinata dalla frequenza di risonanza del circuito oscillante. Questa — come è noto — può essere calcolata dalla equazione:

$$F = \frac{1}{2 \pi \sqrt{LC}}$$

nella quale *F* è la frequenza approssimata, in Hz, *L* l'induttanza in Henry, e *C* la capacità in Farad.

In base ad una semplice analisi matematica, possiamo osservare che, diminuendo uno qualsiasi dei fattori del denominatore, restando costanti gli altri, si aumenta il valore dell'intera frazione, il che equivale ad una frequenza di oscillazione più alta, e viceversa.

Fig. 5 - Circuito di principio di un oscillatore « Hartley » con alimentazione in parallelo. C_1 blocca la corrente di placca, ma permette il passaggio del segnale di placca, consentendo così l'accoppiamento reattivo.

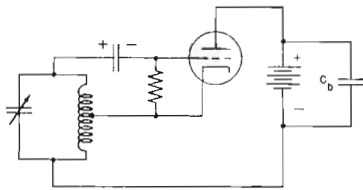



Fig. 4 - Circuito di principio di un oscillatore «Hartley» con alimentazione in serie. Differisce da quello illustrato in Fig. 3 per il fatto che si ha una sola bobina in comune tra placca e griglia.

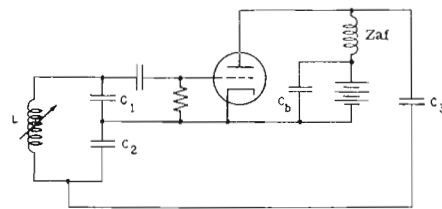
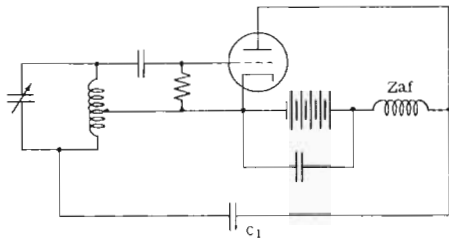



Fig. 6 - Circuito fondamentale dell'oscillatore « Colpitts ». In parallelo alla bobina si trovano due condensatori C_1 e C_2, che formano un partitore di tensione. La sintonia può essere variata variando l'induttanza.

CLASSIFICAZIONE degli OSCILLATORI

Gli oscillatori a valvola possono essere suddivisi in due categorie principali: oscillatori **autocontrollati**, detti anche **autoeccitati,** ed oscillatori **a cristallo** di quarzo.

Una ulteriore classificazione si riferisce al metodo con il quale è realizzato l'accoppiamento reattivo, ossia mediante **accoppiamento induttivo, capacitivo esterno** o capacitivo **interno** (sfruttando la capacità interelettrodica).

Molti oscillatori vengono anche individuati in base al nome della persona che, per prima, dimostrò l'utilità e il funzionamento del tipo particolare di reazione impiegato.

Oscillatori autocontrollati

Oscillatori con bobina eccitatrice. Si tratta del tipo più comune; lo schema relativo è illustrato alla **figura 3.** Il circuito oscillante, costituito da L e da C, si trova nel circuito di griglia. La reazione è ottenuta sfruttando il principio del trasformatore (ossia con accoppiamento induttivo tra placca e griglia), mediante la bobina di reazione L_p e quella di griglia L.

Dal momento che la valvola determina automaticamente uno sfasamento di 180°, è necessario che il dispositivo di reazione provveda ad un ulteriore sfasamento (sempre di 180°) affinchè la tensione di reazione sia in fase rispetto alla tensione del segnale di griglia. La resistenza R_g e la capacità C_g hanno il compito di polarizzare la valvola, mentre la capacità C_b ha il compito di filtrare la tensione di alimentazione.

Nell'istante in cui l'oscillatore viene messo in funzione, la tensione di polarizzazione è zero, e l'amplificazione è massima. La corrente anodica aumenta rapidamente fino a raggiungere un valore alto, limitato però dal fatto che essa causa una caduta della tensione di placca dovuta alla reattanza di L_p. Inoltre, detta corrente anodica (in aumento) determina la produzione di un campo magnetico da parte di L_p stessa, il quale induce una tensione nell'induttanza L.

Se le due bobine sono collegate in modo tale che la polarità della tensione indotta renda la griglia positiva, l'aumento della corrente anodica viene ulteriormente incrementato. Durante questo breve intervallo di tempo, il condensatore C si carica a causa della tensione indotta in L, e C_g si carica a sua volta a causa della corrente di griglia, dovuta al fatto che detta griglia ha un potenziale positivo rispetto al catodo.

La conseguenza della caduta della tensione di placca, cui abbiamo accennato precedentemente, è che la corrente anodica viene limitata ad un valore ben determinato. Mano a mano che essa si avvicina al valore limite, il suo aumento è meno rapido, e la tensione indotta in L diminuisce. Ne consegue che C comincia a scaricarsi attraverso L, e che la tensione presente ai capi del circuito oscillante comincia a sua volta a diminuire. La griglia tende ad assumere un potenziale negativo, riducendo perciò la corrente anodica. Tale sequenza determina l'inizio della fase decrescente del campo magnetico, e l'induzione in L di una tensione di polarità inversa. Questa tensione — a sua volta — accelera la variazione della tensione presente ai capi del circuito oscillante. La corrente anodica si riduce allora a zero, e la completa cessazione del campo magnetico fa in modo che C si carichi in senso opposto.

Non appena il campo magnetico è cessato completamente, C si carica di nuovo, ma il senso della corrente si inverte: la griglia tende ad assumere nuovamente un potenziale positivo, per cui la corrente anodica torna a manifestarsi, ed il ciclo si ripete.

Il condensatore C_g si carica quando la griglia è positiva, e si scarica attraverso R_g quando è negativa. Se i rispettivi valori sono scelti in modo che la costante di tempo RC sia relativamente lunga rispetto alla durata del ciclo, ai capi di C_g si stabilisce una tensione costante. Essa costituisce la tensione di polarizzazione che determina il punto di funzionamento della valvola.

L'ampiezza delle oscillazioni diventa costante quando l'energia a c. a. prodotta equivale alle perdite nel carico e nel circuito oscillante. La corrente di placca scorre soltanto durante una piccola parte di ogni periodo, ma l'effetto « volano » del circuito LC fa in modo che ognuno di essi venga completato.

Quando uno stadio oscillatore è in funzione, la corrente di griglia che scorre durante una parte del ciclo determina dunque una tensione ai capi di R_g. Allo scopo di constatarne il funzionamento, è quindi sufficiente misurare l'intensità di detta corrente, ovvero misurare la tensione presente ai capi di R_g.

Oscillatore Hartley. La **figura 4** ne illustra il circuito di principio. Esso assomiglia notevolmente a quello or

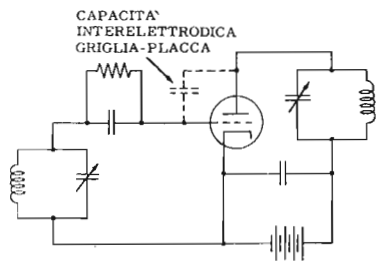



Fig. 7 - Circuito di principio di un oscillatore a sintonia di placca e di griglia. In questo caso, non essendovi induzione tra le due bobine, l'accoppiamento reattivo avviene internamente alla valvola.

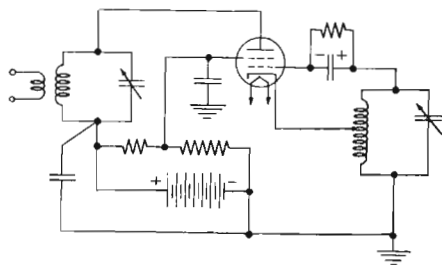



Fig. 8 - Oscillatore ad accoppiamento elettronico. Il catodo, la griglia pilota, e la griglia schermo, costituiscono un triodo. Le oscillazioni prodotte si trasferiscono alla placca con una certa amplificazione. Il carico non influisce sulla frequenza delle oscillazioni.

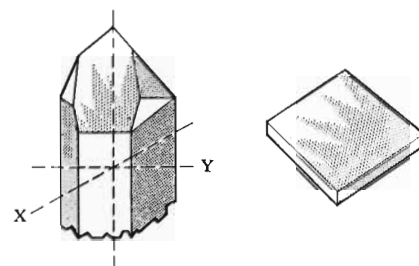



Fig. 9 - Dalla massa originale di un cristallo di quarzo, vengono ricavati, mediante tagli secondo determinati assi, i veri e propri cristalli adatti al controllo della frequenza di un oscillatore a quarzo.

ora descritto. La differenza è che, al posto di un trasformatore di accoppiamento tra i circuiti di placca e di griglia, si usa un solo avvolgimento. Questo fa parte di un circuito risonante, ed ha una presa in prossimità del centro, in modo che — rispetto a questo punto — una sezione si trovi nel circuito di griglia, e l'altra nel circuito di placca. Le due sezioni sono naturalmente accoppiate. La tensione indotta nella sezione del circuito di griglia da parte di quella collegata nel circuito di placca non è altro che la tensione di reazione applicata alla griglia allo scopo di sostenere le oscillazioni prodotte. L'ampiezza di detta tensione può essere variata spostando la presa intermedia. La polarizzazione si sviluppa nel medesimo modo descritto per il circuito della figura 3.

Il circuito della figura 4 viene denominato « oscillatore Hartley », in serie in quanto l'alimentazione anodica è in serie alla placca ed alla sezione della bobina appartenente al circuito di placca. Se invece i collegamenti vengono effettuati come in **figura 5**, si ha il circuito « Hartley in parallelo ». In questo caso, il condensatore C_1 permette agli impulsi della corrente anodica di attraversare il circuito sintonizzato, bloccando contemporaneamente la corrente continua onde evitare che la bobina costituisca un corto-circuito nei confronti della sorgente di alimentazione anodica. L'impedenza ad Alta Frequenza (Z_{af}) oppone una resistenza notevole alla componente alternata, e minima alla c.c.

Oscillatore « Colpitts ». L'oscillatore « Colpitts » differisce dal tipo Hartley in quanto il circuito risonante consiste in una bobina collegata in parallelo ai due condensatori, i quali sono in serie tra loro. La reazione viene definita « capacitiva », in quanto è ottenuta dalla caduta di tensione presente ai capi di una capacità posta nel circuito di griglia. Lo schema di principio è illustrato alla **figura 6.** La sintonia viene effettuata generalmente variando l'induttanza di L. Dal momento che il catodo è connesso tra i due condensatori, il circuito oscillante vero e proprio non è percorso da c.c. E' perciò necessario che l'alimentazione sia applicata in parallelo. La resistenza di polarizzazione della griglia deve fare ritorno direttamente al catodo, onde permettere il passaggio della c. c. Il funzionamento è analogo a quello descritto per gli altri tipi.

L'eccitazione iniziale derivata da una variazione della tensione di placca è accoppiata attraverso il condensatore di blocco C_3 sotto forma di corrente di spostamento che — a sua volta — determina un'analoga corrente nel condensatore di eccitazione di placca C_2. A causa della presenza di L, ciò determina un passaggio di corrente anche attraverso C_1. Si manifesta perciò una d.d.p. ai capi di C_2 e di C_1, la quale eccita la griglia nella fase appropriata, provocando le oscillazioni. Per determinare la frequenza di dette oscillazioni vengono aggiunti C_1 e C_2 come capacità in serie.

Oscillatore con sintonia di placca e di griglia. Un oscillatore munito di circuiti oscillanti sintonizzanti sia nel circuito di placca che in quello di griglia appartiene a questa categoria (vedi **figura 7**). Le bobine di placca e di griglia vengono collocate in modo che tra esse **non esista** un accoppiamento induttivo. Il segnale del circuito di placca è riportato al circuito di griglia attraverso la capacità presente tra i due elettrodi internamente alla valvola. Affinchè la fase della tensione reattiva sia corretta, entrambi i circuiti sono sintonizzati su una frequenza leggermente maggiore di quella di risonanza. In tal modo essi appaiono induttivi nei confronti della corrente anodica. Grazie quindi alla reattanza induttiva opposta alla frequenza di funzionamento, si ottiene lo sfasamento adatto per la reazione.

Oscillatori ad accoppiamento elettronico. Il carico di tutti gli oscillatori precedentemente descritti consiste o nel circuito di ingresso di un amplificatore, o in un dispositivo di accoppiamento di antenna. Qualsiasi variazione si verifichi in tali circuiti esterni, si ripercuote sul funzionamento del circuito di placca dell'oscillatore stesso, e ne varia quindi la frequenza di oscillazione.

La **figura 8** illustra un circuito avente una stabilità di frequenza relativamente elevata. In questo caso la griglia schermo funge da placca agli effetti della produzione di oscillazioni. Queste si manifestano dunque tra il catodo, la griglia di controllo e la griglia schermo, che, praticamente, costituiscono un triodo. La sezione oscillatrice è generalmente collegata col sistema « Hartley » in serie con accoppiamento induttivo, per fornire la tensione di reazione. Dal momento che la corrente elettronica scorre attraverso tali elementi per poi raggiungere la placca della valvola, la parte oscillante del circuito viene ad essere collegata direttamente a detta placca, senza la necessità di organi di accoppiamento esterno.

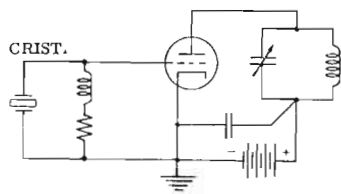



Fig. 10 - Circuito di principio di un oscillatore a cristallo. E' analogo al tipo a doppia sintonia, con la differenza che il circuito oscillante di griglia è sostituito dal cristallo.

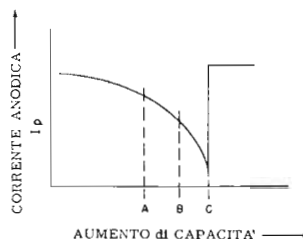



Fig. 11 - Curva di sintonia della corrente di placca di uno stadio oscillatore a cristallo. La maggiore stabilità si verifica tra i punti B e C.

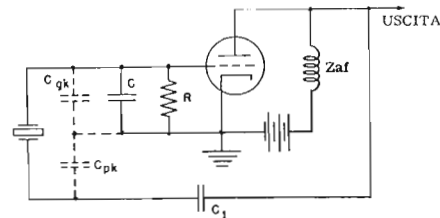



Fig. 12 - Oscillatore « Pierce » a cristallo. Come si nota, non esistono bobine di sintonia. L'accordo è dato dalla frequenza caratteristica del cristallo; i condensatori tratteggiati rappresentano le capacità interelettrodiche.

In realtà, è la stessa corrente anodica che trasferisce sulla placca l'energia sviluppata dall'oscillatore. Poichè la griglia di controllo determina l'intensità della corrente che scorre tra catodo e placca, la tensione che si sviluppa ai capi del circuito risonante in parallelo, presente in serie alla placca stessa, è una tensione amplificata.

Sia la produzione delle oscillazioni, che la relativa amplificazione, avvengono nella medesima valvola. Grazie all'indipendenza che sussiste tra le condizioni di funzionamento della sezione oscillatrice, e le eventuali variazioni del carico, la stabilità di frequenza dell'oscillatore di accoppiamento elettronico è superiore a quella degli altri tipi già menzionati. Inoltre, mediante una accurata regolazione della presa sul partitore di tensione che determina il potenziale di schermo, la frequenza delle oscillazioni prodotte può essere resa praticamente indipendente dalle eventuali piccole variazioni della tensione di alimentazione.

Oscillatori con controllo a cristallo

Quando si desidera mantenere la frequenza prodotta da un oscillatore ad un valore rigorosamente costante, si usa il circuito con controllo a cristallo. Il funzionamento è basato in tal caso sulle caratteristiche di una sostanza cristallina speciale, normalmente quarzo. Alcune tra tali sostanze, come appunto il quarzo, i sali Rochelle, e la tormalina, hanno delle proprietà interessanti già note al lettore. Abbiamo infatti visto che se vengono sottoposte a sollecitazioni meccaniche, sviluppano delle differenze di potenziale. Viceversa, se vengono sottoposte a d.d.p., come ad esempio corrente alternata, esse subiscono delle variazioni nella loro struttura fisica che si manifestano sotto forma di vibrazioni meccaniche. Le reciproche relazioni tra i due fenomeni prendono il nome di « effetto piezoelettrico ».

Sebbene diverse sostanze abbiano tali qualità, il quarzo si è dimostrato il più adatto per gli oscillatori a cristallo. Esso viene tagliato in piastrine ricavate dalla massa originale, come indicato alla **figura 9.** Il contatto elettrico con le superfici di tali cristalli — appositamente sagomati — viene realizzato mediante uno speciale supporto munito di due elettrodi, tra i quali il cristallo viene installato. Tali elettrodi sono inoltre provvisti di una molla che ha il compito di determinare una certa pressione sul cristallo stesso.

Quando il quarzo inizia a vibrare sulla sua frequenza caratteristica, esso necessita di una minima quantità di energia per produrre oscillazioni di notevole ampiezza. La frequenza di risonanza dipende principalmente dallo spessore. Allorchè il cristallo viene sottoposto ad una c.a. avente una frequenza pari a quella caratteristica di risonanza, esso vibra con tale facilità che una minima tensione è sufficiente per mantenerlo in tali condizioni.

D'altro canto, esso produce una tensione alternata considerevole, e — naturalmente — della medesima frequenza. Se viene collegato tra il catodo e la griglia di una valvola, e gli si applica una piccola quantità di energia prelevata dal circuito di placca, l'intero circuito agisce da oscillatore. La frequenza naturale del cristallo è però piuttosto critica: infatti, se la frequenza di eccitazione differisce sia pure minimamente da quella di risonanza, l'ampiezza delle vibrazioni del cristallo si riduce a zero. Allorchè cessa di vibrare, cessa la tensione alternata prodotta. Da ciò è facile dedurre che la frequenza generata da un oscillatore a cristallo corrisponde esattamente a quella di risonanza del quarzo.

La **figura 10** illustra il circuito di un'oscillatore a triodo con controllo a cristallo, del tutto analogo al tipo col circuito di griglia e di placca sintonizzato. L'unica differenza risiede nel fatto che il cristallo sostituisce il circuito oscillante di griglia. In tal caso, esso si comporta come circuito risonante in parallelo, la cui tensione di reazione è derivata dalla capacità presente tra placca e griglia internamente alla valvola.

Le oscillazioni si manifestano con una frequenza pari a quella di risonanza del quarzo, ed il circuito di placca è sintonizzato approssimativamente sul medesimo valore. La sintonia del circuito anodico non deve essere effettuata sul valore esatto della frequenza del cristallo, altrimenti ne conseguirebbe un funzionamento intermittente ed instabile. Se si collega un milliampèrometro per c.c. in serie all'alimentazione del circuito di placca, e si varia la capacità del condensatore di sintonia dal minimo al massimo, (ossia dalla frequenza più alta alla più bassa), si nota che la corrente anodica scende lentamente ad un valore minimo per salire poi rapidamente al massimo. A questo punto le oscillazioni cessano.

La **figura 11** illustra la curva della corrente di plac-

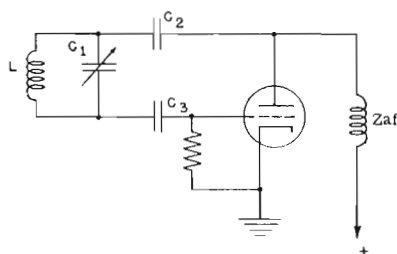



Fig. 13 A - Circuito di principio di un oscillatore « ultraudion » per la produzione di oscillazioni a frequenza molto elevata. Anche in questo caso la reazione si verifica attraverso la capacità interelettrodica.

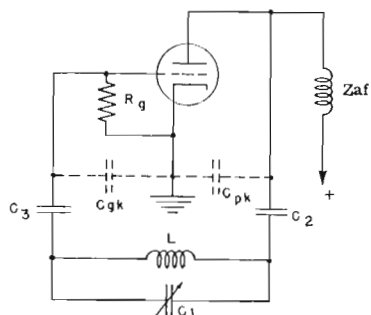



Fig. 13 B - Circuito equivalente dello oscillatore di Fig. 13 A. Come si nota, le capacità interelettrodiche formano un partitore.

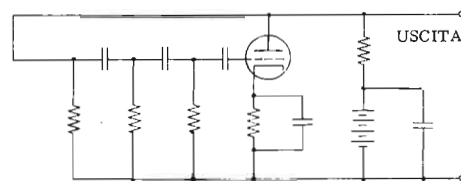



Fig. 14 - Oscillatore a Bassa Frequenza del tipo a spostamento di fase (« phase-shift »). Le tre cellule RC presenti nel circuito di griglia determinano uno sfasamento di 180°.

ca: nel punto *C* il circuito relativo è sintonizzato sulla frequenza esatta di risonanza del cristallo per cui la uscita ai capi del circuito di placca è massima. Ciò è contemporaneamente denunciato dalla indicazione minima da parte dello strumento in serie all'alimentazione.

La stabilità non raggiunge però il suo « optimum » in tale punto, in quanto, qualsiasi variazione che si manifesti nel carico, può portare il circuito stesso al di là del punto critico, bloccando le oscillazioni.

Se invece il funzionamento viene stabilito nel tratto della curva compreso tra i punti *A* e *B*, pur avendo una tensione d'uscita inferiore, si ottiene un notevole incremento della stabilità.

Il circuito risonante in serie alla placca viene dunque sintonizzato su una frequenza leggermente superiore a quella di risonanza del cristallo. Esso si comporta perciò come una induttanza. In tal caso, il circuito di reazione risulta dal collegamento in serie del circuito di placca, del cristallo di griglia, e della capacità interelettrodica tra griglia e placca del triodo. Ne consegue che la reazione è positiva, e che l'oscillatore funziona alla frequenza del cristallo. L'improvviso aumento della corrente anodica nel punto *C* si verifica in quanto la frequenza naturale di risonanza del circuito di placca è inferiore a quella del quarzo. Il primo si comporta perciò come una capacità, anziche come un'induttanza, e la reazione diventa allora negativa e non più positiva. Ciò provoca la cessazione delle oscillazioni.

Oscillatore « Pierce » a cristallo. La **figura 12** illustra lo schema di principio di questo tipo di oscillatore. La sua caratteristica principale è che esso non necessita di alcun controllo di sintonia. Il cristallo è collegato direttamente tra la placca e la griglia. L'intero circuito può essere considerato equivalente al tipo « Colpitts », con l'unica differenza che il circuito sintonizzato è sostituito dal cristallo, e che la divisione della tensione si effettua automaticamente attraverso le capacità interelettrodiche presenti tra placca e catodo, e tra griglia e catodo, rappresentate simbolicamente nella figura mediante tratto discontinuo.

L'ammontare della reazione dipende dalla capacità presente tra griglia e catodo. Tra tali elettrodi viene collegato un condensatore fisso, *C*, che determina l'ampiezza esatta del segnale di reazione in rapporto al tipo di valvola ed alla frequenza di funzionamento; il valore della capacità non è critico.

Normalmente, non è necessario sostituirlo quando si cambia la gamma di frequenze. Il condensatore C_1 protegge il cristallo dalla c.c. ed offre contemporaneamente libero passaggio alla radiofrequenza. *R* è la resistenza di griglia che, unitamente alla capacità *C*, fornisce la tensione di polarizzazione.

Conseguenze delle variazioni del carico

L'uscita di un oscillatore è accoppiata ad un carico, (che può essere — ripetiamo — un amplificatore o una antenna), mediante un dispositivo di accoppiamento. Finchè detto carico ha un valore costante, resta pressochè costante anche la frequenza di oscillazione. Allorchè — invece — il carico subisce variazioni, queste ultime esercitano una certa influenza sul valore della frequenza. Un oscillatore autoeccitato — usato come trasmettitore — e un esempio eccellente di ciò che accade in quest'ultimo caso.

Non appena un corpo solido si avvicina all'antenna di tale trasmettitore, la sua impedenza di carico subisce una variazione. In un trasmettitore telegrafico (adatto cioè non alla trasmissione di frequenze foniche, bensì di soli segnali telegrafici), l'energia assorbita dallo stadio finale subisce delle variazioni di intensità ogni volta che il tasto viene alzato o abbassato. Se tali variazioni si riflettono sull'oscillatore, la sua frequenza di funzionamento varia in corrispondenza.

Tale fenomeno costituisce uno svantaggio nei circuiti « Hartley », « Colpitts », ed a doppia sintonia. Quando — a suo tempo — ci occuperemo di trasmettitori, noteremo che questi circuiti vengono impiegati solo nei casi in cui esiste uno stadio separatore tra il generatore e l'uscita. Tale stadio non è che un amplificatore il quale, oltre ad intensificare i segnali prodotti, evita che le variazioni del carico si ripercuotano sull'oscillatore.

Oscillataore « ultraudion »

Un tipo di oscillatore usato per la riproduzione di oscillazioni ad onde ultracorte è quello illustrato alla figura **13**, sezione **A**. La reazione ha luogo attraverso la capacità interelettrodica della valvola. Il funziona-

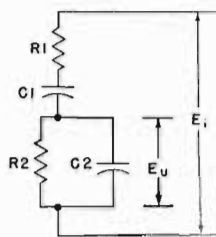



Fig. 15 - Esempio di circuito di sfasamento di un segnale, attraverso una rete RC.

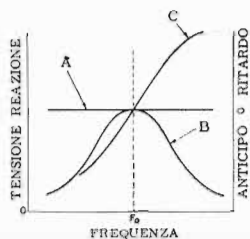



Fig. 16 - I due segnali sono in fase per un solo valore di frequenza (F_o), sulla quale il circuito oscilla.

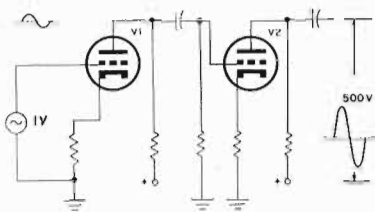



Fig. 17 - Amplificatore tipico a due stadi, mediante il quale, con l'aggiunta di un circuito a reazione positiva, è possibile ottenere un « ponte di Wien ».

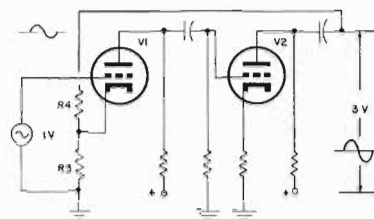



Fig. 18 - « Ponte di Wien » ottenuto dal circuito di Fig. 17, con l'aggiunta del circuito reattivo (formato da R4) tra l'uscita ed il catodo della prima valvola.

mento potrà essere compreso meglio osservando il circuito equivalente illustrato alla sezione **B** della medesima figura.

La capacità presente tra il catodo e la griglia (C_{gk}), e quella presente tra la placca ed il catodo (C_{pk}), formano un partitore di tensione ai capi del circuito oscillante. La caduta di tensione presente ai capi della prima provvede alla eccitazione di griglia, mentre la capacità totale del circuito oscillante consiste nel condensatore di sintonia C_1. Esso è in parallelo alla combinazione in serie di C_2, C_{pk}, C_{gk}, e C_3. C_2 e C_3 sono di valore relativamente elevato, onde offrire una reattanza trascurabile alla corrente a radiofrequenza, per cui non hanno praticamente alcuna influenza sulla frequenza di oscillazione del circuito. Inoltre, come gli altri oscillatori a reazione, la polarizzazione avviene per corrente di griglia, grazie all'unione di C_3 e di R_g. Di conseguenza, il potenziale di griglia resta ad un valore adatto per un funzionamento soddisfacente.

PRINCIPI di FUNZIONAMENTO degli OSCILLATORI a BASSA FREQUENZA

Esistono tipi di oscillatori adatti alla produzione di frequenze acustiche, che vengono impiegati sia per determinare la fedeltà di un amplificatore a B.F., come pure della sezione audio di un radioricevitore o di un televisore, sia per produrre segnali speciali per le radiotrasmissioni, o infine per produrre artificialmente dei suoni.

Anche in questo caso è possibile utilizzare i circuiti « Hartley » e « Colpitts ». Tuttavia, per produrre frequenze molto basse, essi richiedono l'impiego di induttanze e di capacità di dimensioni notevoli. In determinati casi, si preferisce perciò ricorrere all'uso di circuti realizzati con accoppiamenti del tipo *RC* tra griglia e placca.

La **figura 14** illustra il circuito di principio di un oscillatore *RC* a bassa frequenza, detto « phase shift » o a *spostamento di fase*. Esso viene eccitato da qualsiasi variazione delle condizioni di funzionamento, come ad sempio una variazione della tensione di alimentazione, o per la perturbazione interna alla valvola dovuta alla corrente elettronica.

Non appena essa si verifica, il relativo segnale viene amplificato e sfasato di 180° dalla rete *RC* presente nel circuito di griglia, dopo di che la fase originale viene ripristinata dalla valvola stessa, e riportata in griglia perchè subisca una nuova amplificazione. Ogni unità (cellula) *RC*, sposta la fase di 60°, per cui, dopo aver attraversato tre cellule, il segnale che giunge alla griglia è sfasato di 180°.

Se la polarizzazione della valvola è regolata ad un valore tale che le oscillazioni sussistano a mala pena, la forma d'onda d'uscita è pressochè sinusoidale, e la stabilità della frequenza è soddisfacente. Naturalmente il valore della frequenza è dato dai valori delle resistenze e dei condensatori costituenti le cellule di sfasamento.

Oscillatore a « ponte di Wien ». Per meglio comprendere il funzionamento di questo tipo di oscillatore è oportuno osservare il circuito di spostamento di fase illustrato alla **figura 15:** esso costituisce due dei quattro bracci di un « ponte di Wien », uno dei quali è la combinazione in serie di R_1 e di C_1. L'altro è la combinazione in parallelo di R_2 e C_2.

In tale circuito interessano due tensioni: la tensione di ingresso E_i, applicata ai capi dell'intero circuito e quella di uscita E_u,presente ai capi di R_2 e di C_2.

La curva illustrata alla **figura 16** mostra che le due tensioni sono in fase per un solo valore di frequenza F_0. Ciò è vero in quanto la fase delle tensioni presenti ai capi dei bracci varia in senso opposto col variare della frequenza.

Ad esempio, per una frequenza inferiore a F_0, la tensione presente ai capi del braccio in serie è in ritardo rispetto a quella d'ingresso, mentre quella presente ai capi del braccio in parallelo è in anticipo. Se la frequenza aumenta, la differenza di fase tra dette tensioni diminuisce, finchè raggiunto il valore critico F_0, esse sono entrambe in fase rispetto alla tensione di entrata.

La tensione d'uscita è presente ai capi del braccio in parallelo, e le sue variazioni di fase rispetto alla tensione E_i sono rappresentate dalla curva C, dalla quale si deduce che essa è in anticipo per le frequenze inferiori ad F_0, ed in ritardo per quelle superiori. Per la medesima frequenza, lo sfasamento è invece pari a zero.

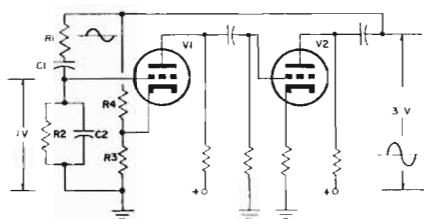



Fig. 19 - Per mantenere costante la frequenza di oscillazione di un « ponte di Wien », si inserisce tra l'uscita e l'entrata un circuito di sfasamento del tipo illustrato alla Figura 15.

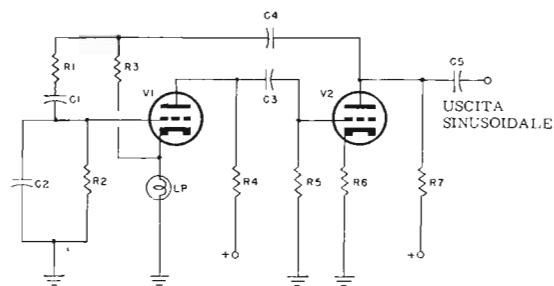



Fig. 20 - Un ulteriore perfezionamento consiste nella aggiunta di una lampadina (o di un termistore) il cui compito è di mantenere costante l'ampiezza delle oscillazioni prodotte.

Sia la prova sperimentale che l'analisi teorica dimostrano che la tensione di uscita del circuito sfasatore è massima per la frequenza in corrispondenza della quale non si ha differenza di fase. Per comodità, si preferisce dare ad R_1 e ad R_2 valori eguali, come pure a C_1 e C_2. In tali condizioni, la massima tensione di uscita in assenza di sfasamento è esattamente la terza parte di quella d'entrata. Sono quindi necessari — ad esempio — 3 volt per avere $E_u = 1$ volt.

La **figura 17** illustra il primo passaggio necessario per sviluppare l'oscillatore a « ponte di Wien » mediante due stadi. Supponiamo che nel primo stadio (V_1), si abbia un'amplificazione di tensione pari a 50, e che nel secondo stadio essa sia pari a 10; il guadagno totale equivarrà a 500. Di conseguenza, la tensione di 1 volt — applicata all'ingresso — corrisponderà a 500 V in uscita. Dal momento che entrambe le tensioni d'uscita sono in fase con la frequenza alla quale corrisponde uno sfasamento di 360°, l'amplificatore oscilla se una parte della tensione d'uscita viene usata per pilotarlo in sostituzione di un segnale esterno.

Per ridurre la tensione al valore desiderato, è sufficiente un partitore di tensione. Nella **figura 18** è apportato un miglioramento costituito dall'aggiunta di una reazione negativa, (o controreazione). Questa riduce l'amplificazione ad un valore tale che si ottiene solo la tensione desiderata di 3 volt. Essa appiattisce inoltre la curva di risposta dell'amplificatore, e mantiene sia lo sfasamento sia la tensione di uscita quasi costanti su un'ampia gamma di frequenze. Ad esempio, la rete di controreazione $R_3 - R_4$ riduce l'amplificazione totale da 500 a circa 3, se R_4 è circa il doppio di R_3. La tensione di uscita è in tal caso di 3 volt allorchè si ha una tensione di ingresso di 1 volt. Si ottiene così il fattore di amplificazione ideale.

L'ammontare della reazione non varia col variare della frequenza, in quanto il partitore è costituito da resistenza ohmica pura, e quindi privo di induttanza: il suo valore è perciò uguale o leggermente inferiore a quello corrispondente alla massima reazione positiva (vedi curva A figura 16). Allo scopo di mantenere costante la frequenza di oscillazione, il circuito di sfasamento della figura 15 è inserito tra l'uscita e l'entrata dell'amplificatore (**figura 19**), per cui esso oscilla su una sola frequenza, quella cioè per la quale lo sfasamento è di 360°.

Dal momento che altre frequenze eventualmente presenti provengono dal circuito di sfasamento della reazione positiva, esse vengono neutralizzate sulla griglia. Questo è il motivo per cui l'amplificazione totale viene ridotta al fattore 3.

La frequenza di oscillazione può essere variata sostituendo i valori resistivi e capacitivi del circuito di sfasamento. Può essere determinata mediante la formula:

$$F_0 = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$$

la quale è riferita soltanto ad R_1 e C_1, in quanto $R_1 = R_2$ e $C_1 = C_2$.Detta formula rende evidente il fatto che la frequenza aumenta col diminuire di R o di C o di entrambe; la variazione di uno solo di essi è tuttavia sufficiente. Le gamme di frequenze sono inoltre suddivise in modo che il rapporto tra la massima e la minima di ciascuna di esse sia pari a 10, ossia — ad esempio — da 20 a 200, da 200 a 2.000 e da 2.000 a 20.000 Hz.

Generalmente, nelle realizziazioni pratiche di questo circuito, viene introdotto un terzo elemento. Si tratta di una comune lampadina o di un *termistore*, come illustrato alla **figura 20.** Dal momento che in essi la resistenza varia per effetto termico col variare della corrente che li percorre, essi stabilizzano l'ampiezza delle oscillazioni se vengono inseriti nel circuito di controreazione: infatti, con l'aumento di ampiezza del segnale, si ha un aumento di intensità della corrente circolante, Se questa passa attraverso il filamento della lampadina, o attraverso il termistore, lo aumento della corrente provoca l'aumento della sua resistenza ohmica. La variazione della caduta di tensione, che naturalmente aumenta proporzionalmente, compensa l'aumento originale, stabilizzando l'ampiezza del segnale prodotto.

Questo circuito, grazie alle sue caratteristiche di stabilita ed alla possibilità di ottenere segnali perfettamente sinusoidali e privi di armoniche, viene comunemente adottato negli strumenti di misura come — ad esempio — i generatori di segnali a B.F.

Esistono altri tipi di oscillatori a B.F., che consentono la produzione di segnali non sinusoidali. Essi saranno oggetto di una lezione futura.

COSTRUZIONE di un OSCILLATORE MODULATO a frequenza variabile

L'oscillatore modulato, (detto anche « generatore di segnali ») mod. « SG-8 », qui descritto, è uno strumento versatile, di facile impiego, e di funzionamento sicuro. La sua realizzazione non comporta notevoli difficoltà, in quanto il circuito si basa sull'impiego di stadi oscillatori, analoghi a quelli descritti nella precedente lezione.

Come vedremo prossimamente, allorchè ci occuperemo a fondo dei ricevitori cosiddetti « supereterodina », questo strumento è indispensabile per la messa a punto dei vari stadi di amplificazione che precedono lo stadio rivelatore negli apparecchi radio, nonchè per le riparazioni. Inoltre, essendo disponibile una sorgente di segnale a frequenza fonica, essa può essere impiegata anche per la messa a punto della sezione di amplificazione a Bassa Frequenza.

Il generatore di segnali — ripetiamo — non serve soltanto per la messa a punto dei ricevitori, ma anche per la loro riparazione. Come a suo tempo vedremo può infatti presentarsi la necessità, indipendentemente dalla ricezione di una emittente qualsiasi, di iniettare — per così dire — un segnale ad Alta, Media o Bassa Frequenza, in un dato punto di un circuito (come ad esempio l'ingresso di uno stadio di amplificazione), ed osservarne le modifiche subìte oltre lo stadio. In aggiunta, nei casi in cui non si ha alcuna ricezione, iniettando il segnale dello strumento all'ingresso di ogni singolo stadio, e verificando con l'altoparlante o con un voltmetro per corrente alternata ciò che si ottiene all'uscita dell'apparecchio, è possibile individuare facilmente lo stadio o gli stadi in cui il funzionamento viene meno.

Si tratta — in una parola — di uno strumento indispensabile sia all'amatore, sia al riparatore o al progettista.

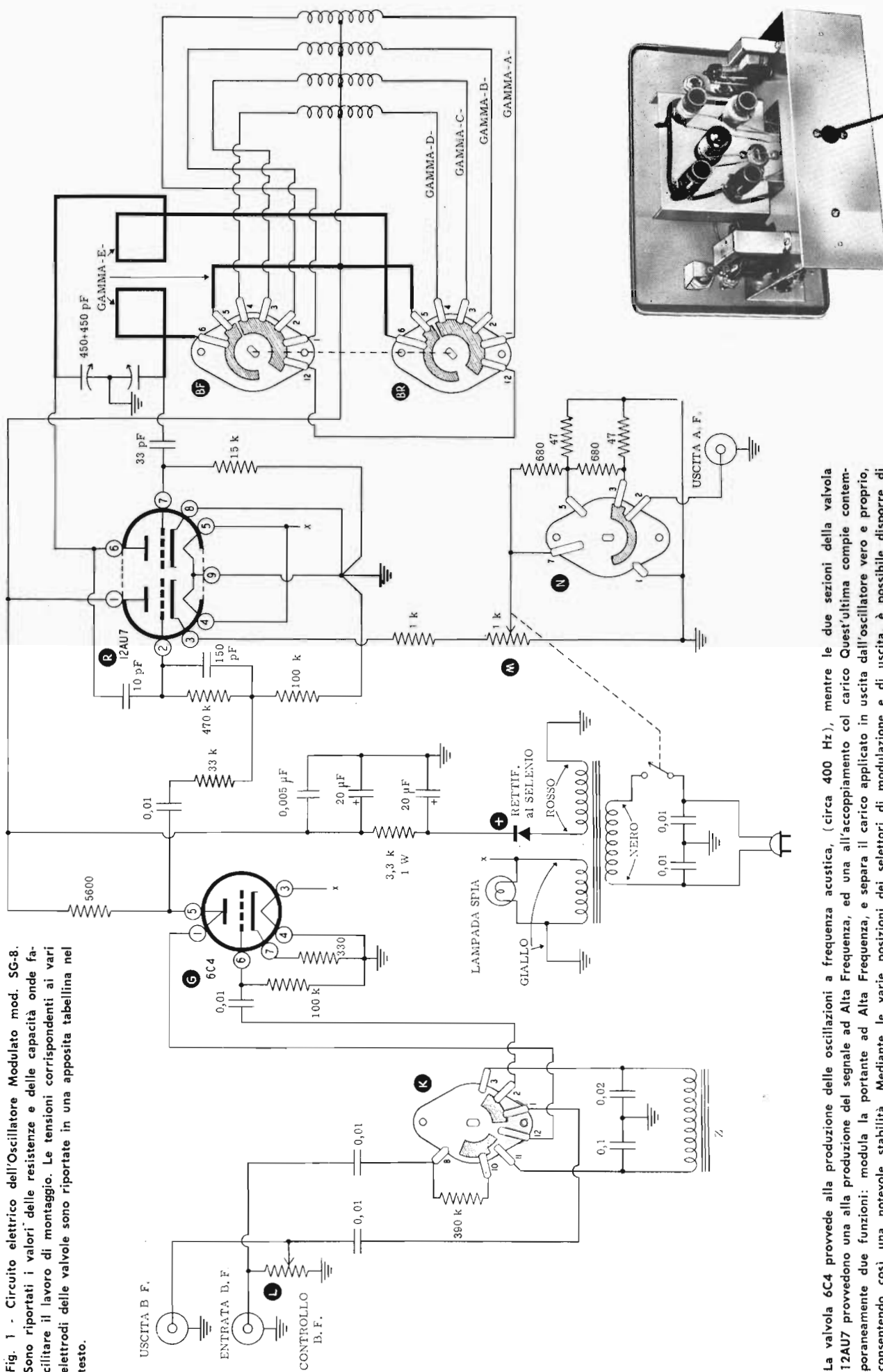
Caratteristiche generali

Cinque gamme di frequenza come segue:

Gamma A	da 160 a 500 kHz
Gamma B	da 500 a 1.650 kHz
Gamma C	da 1,65 a 6,5 MHz
Gamma D	da 6,5 a 25 MHz
Gamma E	da 25 a 110 MHz
Armoniche calibrate	da 110 a 220 MHz
Uscita ad A. F.	Superiore a 100.000 microvolt (0,1 volt)
Frequenza di modulazione . . .	400 Hz circa
Uscita B. F.	da 2 a 3 volt max.
Modulazione esterna	Circa 5 volt su 1 Mohm
Valvole	12 A U 7 oscillatrice e separatrice; 6C4 modulatrice o amplificatrice di B. F.
Alimentazione	110 o 220 volt - 50/60 Hz
Dimensioni	cm 24 x 16,5 x 12,5 circa
Peso	3,5 kg circa

Descrizione del circuito

La parte del generatore « SG-8 » che provvede alla produzione dei segnali ad Alta Frequenza consiste essenzialmente in un doppio triodo del tipo 12AU7. Una delle due sezioni di questa valvola (ossia uno dei triodi), viene impiegata come oscillatrice in un circuito « Colpitts », ben noto al lettore. La seconda sezione — invece — è uno stadio ad accoppiamento catodico che separa il generatore propriamente detto dal circuito di uscita dello strumento, onde evitare — come abbiamo visto alla lezione 67ª — che i vari carichi applicati possano influire sul funzionamento dello stadio oscillatore variando la frequenza o l'ampiezza del segnale prodotto.

Fig. 1 - Circuito elettrico dell'Oscillatore Modulato mod. SG-8. Sono riportati i valori delle resistenze e delle capacità onde facilitare il lavoro di montaggio. Le tensioni corrispondenti ai vari elettrodi delle valvole sono riportate in una apposita tabellina nel testo.

La valvola 6C4 provvede alla produzione delle oscillazioni a frequenza acustica, (circa 400 Hz), mentre le due sezioni della valvola 12AU7 provvedono una alla produzione del segnale ad Alta Frequenza, ed una all'accoppiamento col carico Quest'ultima compie contemporaneamente due funzioni: modula la portante ad Alta Frequenza, e separa il carico applicato in uscita dall'oscillatore vero e proprio, consentendo così una notevole stabilità. Mediante le varie posizioni dei selettori di modulazione e di uscita, è possibile disporre di Alta Frequenza a modulazione interna, Alta Frequenza non modulata o modulata da segnali esterni, o ancora del solo segnale a Bassa Frequenza. A lato è illustrato il telaio interamente montato.

Come si nota osservando il circuito elettrico illustrato in **figura 1**, esistono in totale quattro bobine avvolte su supporti. Esse vengono inserite una alla volta dal commutatore di gamma (B.F. e B.R.), e vengono impiegate rispettivamente per le gamme *A*, *B*, *C*, e *D*. Praticamente, ciascuna di esse consiste in due bobine in serie tra loro, in quanto è provvista di una presa intermedia. La bobina relativa alla gamma *E* è invece di struttura diversa, in quanto è costituita da un conduttore rigido di notevole diametro, che serve anche da collegamento tra detto commutatore di gamma e le altre bobine adatte alle gamme di frequenze inferiori. Allorchè esso viene posto nella posizione relativa alla gamma *E*, viene creato un cortocircuito tra i contatti delle bobine di tale gamma: detto cortocircuito forma una induttanza di valore tale da consentire la sintonia in una gamma compresa appunto tra 25 e 110 MHz.

Come sappiamo, in un circuito oscillatore « Colpitts » la reazione necessaria per la produzione delle oscillazioni viene ottenuta mediante un divisore a reattanza capacitiva presente ai capi dell'induttanza che determina la frequenza di funzionamento. Nel nostro caso, tale divisore consiste in un condensatore variabile il cui statore è diviso in due settori isolati tra loro. Il vantaggio di questo sistema risulta evidente dalle seguenti osservazioni. Supponiamo che esso consista invece in due capacità fisse: in tal caso, con l'aumentare della frequenza del segnale applicato ai capi dei condensatori, diminuisce la reattanza da essi opposta. Di conseguenza, adottando un divisore con capacità fisse, qualsiasi aumento della frequenza sarebbe seguito da una diminuzione della reattanza, fino a raggiungere un punto nel quale le oscillazioni non potrebbero più avere luogo, in quanto verrebbero praticamente cortocircuitate.

Usando invece un condensatore variabile a due sezioni, sia per la sintonia che come divisore di tensione, con l'aumentare della frequenza diminuisce la capacità. Come sappiamo, la reattanza opposta da un condensatore è inversamente proporzionale alla capacità stessa; di conseguenza, il valore della reattanza capacitiva rimane pressochè costante. Ciò consente di mantenere le oscillazioni su una gamma di frequenze molto estesa.

L'impiego di uno stadio ad uscita catodica come separatore ha i seguenti vantaggi: come sappiamo, questo circuito consente una bassa impedenza di uscita con impedenza di ingresso notevolmente elevata. Tale impedenza d'ingresso, applicata all'oscillatore, non comporta praticamente alcun assorbimento, mentre il basso valore dell'impedenza di uscita rende quest'ultima insensibile alle eventuali variazioni del carico, a tutto vantaggio della stabilità. Ne deriva che l'applicazione di qualsiasi valore del carico non apporta che variazioni trascurabili — se non addirittura nulle — sulle caratteristiche del segnale prodotto.

Lo strumento comprende un attenuatore a scatti o « moltiplicatore » (N) per determinare l'ampiezza del segnale di uscita, oltre ad un attenuatore a variazione continua (M) che consente di ottenere tutti i valori del segnale di uscita compresi tra un estremo e l'altro delle diverse portate del primo.

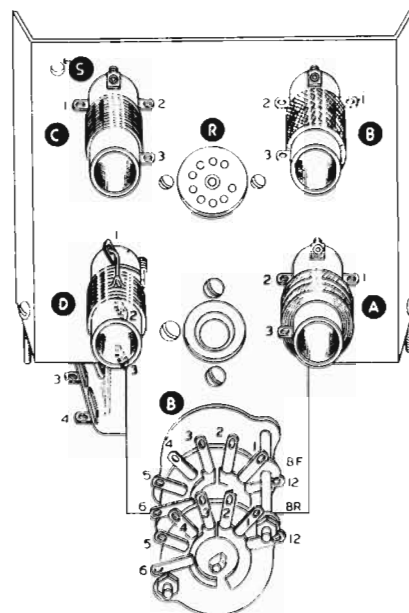



Fig. 2 - Disposizione dei componenti sul telaio minore. Si noti la posizione delle quattro bobine contrassegnate con le lettere A, B, C e D, corrispondenti alle gamme relative. E' importante osservare l'orientamento dello zoccolo portavalvola della 12AU7.

Anche l'oscillatore a frequenza fonica è del tipo « Colpitts ». Esso consiste in un triodo del tipo 6C4, in una induttanza di Bassa Frequenza con nucleo di ferro (Z), ed in un divisore formato da due capacità fisse (0.1 e 0.02 μF), i cui valori sono tali da consentire la produzione di un segnale la cui frequenza è di circa 400 Hz. Il segnale prodotto è stabile, e notevolmente privo di distorsioni.

Allorchè il relativo selettore (K) si trova in posizione « INT » (modulazione interna), il segnale a 400 Hz viene applicato — attraverso un circuito resistivo —

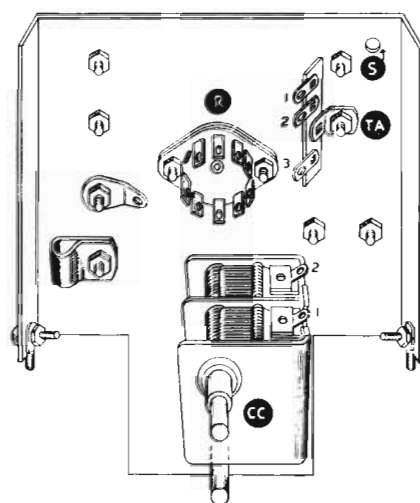



Fig. 3 - Disposizione di alcuni componenti sulla parte inferiore del telaio di Figura 2. Si noti la posizione del condensatore variabile e della basetta di ancoraggio. A quest'ultima fanno capo le resistenze ed i condensatori facenti parte del circuito di Alta Frequenza.

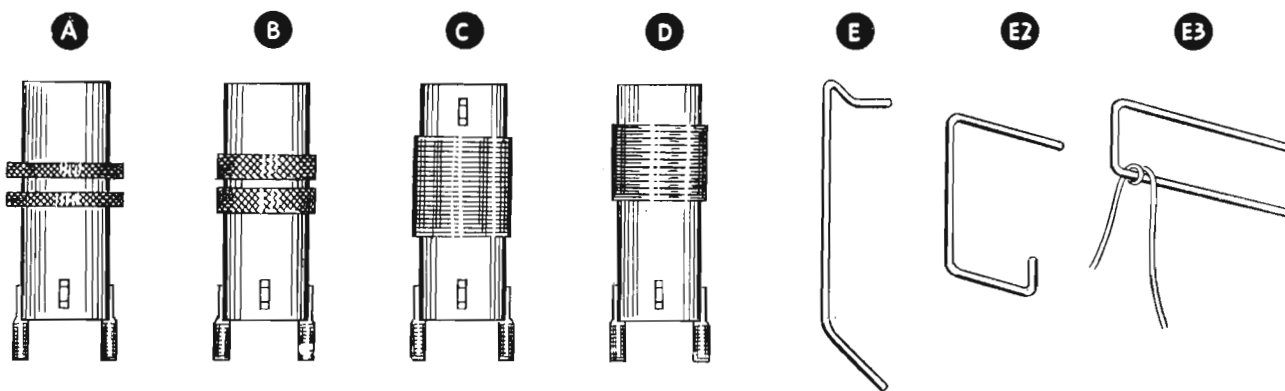



Fig. 4 - Aspetto delle bobine relative alle 5 gamme. Come si nota, quelle funzionanti sulle gamme A, B, C e D sono avvolte su supporti che possono essere fissati al telaio mediante i perni filettati visibili inferiormente. Le bobine relative alla gamma E sono invece costituite da conduttori rigidi e appositamente sagomati, in quanto devono presentare appena l'induttanza necessaria per consentire il funzionamento su frequenze molto elevate.

alla griglia dello stadio ad accoppiamento catodico. In tal modo esso viene sovrapposto al segnale ad Alta Frequenza, che ne viene pertanto modulato in ampiezza.

Il segnale a frequenza acustica è anche disponibile ad un attacco di uscita contrassegnato « OUT », e può essere impiegato come sorgente di segnale per il controllo di un amplificatore a Bassa Frequenza. Viceversa, se il selettore (K) viene posto in posizione « EXT » (modulazione esterna), è possibile collegare all'apposita presa qualsiasi segnale esterno, il quale costituirà così la modulazione della portante prodotta dal generatore

Fig. 5 - Veduta interiore del telaio di maggiori dimensioni. Si noti la posizione dello zoccolo della valvola 6C4, nonchè le basette di ancoraggio. E' visibile anche la posizione del rettificatore ad ossido, che deve essere montato col polo positivo come indicato.

di Alta Frequenza. In tal caso, il triodo 6C4 assume il ruolo di stadio amplificatore del segnale esterno applicato.

Il circuito di alimentazione consiste in un trasformatore che abbassa la tensione di rete al valore necessario per l'accensione dei filamenti delle due valvole (ossia 6 volt, in quanto i due filamenti dei due triodi contenuti nella 12*AU*7 sono connessi in parallelo); un altro secondario fornisce l'alta tensione, che, rettificata mediante un raddrizzatore al selenio in una sola semionda, e filtrata da una cellula del tipo *RC* a « π », costituisce la tensione anodica.

Una caratteristica peculiare di questo strumento, è il potenziometro contrassegnato con « L » nello schema. Esso consente la regolazione al valore opportuno se si applica un segnale esterno per la modulazione, e regola l'ampiezza del segnale a 400 Hz se l'apparecchio viene usato come sorgente di segnale a Bassa Frequenza.

Il montaggio meccanico

Come abbiamo visto in alcune delle precedenti realizzazioni, le varie parti meccaniche — ossia lo chassis, le varie squadrette, i componenti più ingombranti, ecc. — sono tali da rendere intuitiva la relativa posizione. Inoltre, le varie figure qui riportate, presenti con det-

Fig. 6 - Collegamenti tra il commutatore di gamma e le relative bobine. Sono visibili anche le bobine della gamma «E».

tagli ancora più numerosi sul manuale che accompagna la scatola di montaggio così come viene fornita, sono di valido aiuto.

Valgono naturalmente anche tutte le considerazioni generiche fatte negli altri casi. In particolare, facciamo osservare che tutte le viti, ad eccezione di quelle cui fanno capo eventuali capicorda, devono essere munite di ranella tra il dado e la superficie di appoggio. L'unica eccezione è costituita dalle viti mediante le quali vengono fissati gli zoccoli portavalvola.

Le **figure 2** e **3** illustrano il primo passo del montaggio meccanico: esse rappresentano lo chassis più piccolo visto dal di sopra e dal di sotto. Le lettere riportate nei dischetti neri servono come riferimento per individuare i componenti illustrati nello schema di figura 1.

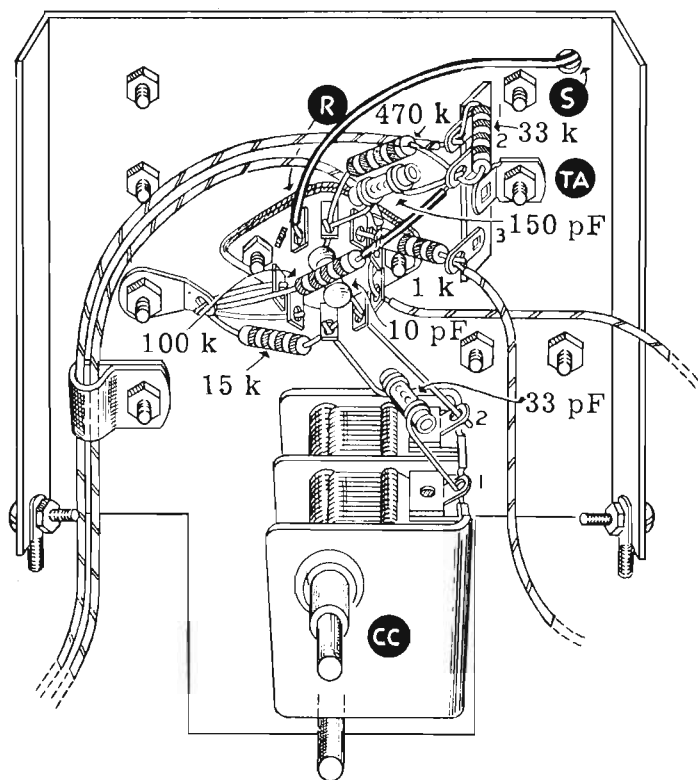



Fig. 7 - Aspetto del telaio minore dopo il montaggio. Per maggiore chiarezza, sono stati riportati i valori dei vari componenti.

sizione del rettificatore, sul quale è riportata anche la polarità. Gli anelli passafilo in gomma, chiaramente visibili nella figura, servono ad evitare che i collegamenti passanti per quei punti diano dispersioni o contatti intermittenti verso massa in seguito alla eventuale rottura dell'isolamento.

Si presti la massima attenzione a serrare bene le viti, in particolar modo quelle cui fanno capo eventuali collegamenti a massa. Durante il montaggio è bene osservare attentamente le figure, particolarmente per quanto riguarda l'orientamento degli zoccoli portavalvola, studiato in modo tale da consentire il cablaggio più razionale e la minima lunghezza dei collegamenti.

Ripetiamo — anche in questo caso — che, ad evitare di graffiare il pannello frontale, è bene — durante tutte le operazioni di montaggio e di collaudo e messa a punto — tenere un panno soffice sotto lo strumento. A tale scopo, è inoltre consigliabile appoggiare gli strumenti di lavoro e gli attrezzi meccanici ad una certa distanza, nonchè togliere tutti i residui di stagno ed i segmenti conduttori asportati che cadono inevitabilmente sul piano di appoggio.

Si tenga sempre presente che un lavoro fatto con pazienza e precisione, anche se con maggior perdita di tempo, sarà in seguito compensato da un risultato migliore sia dal punto di vista funzionale che da quello estetico.

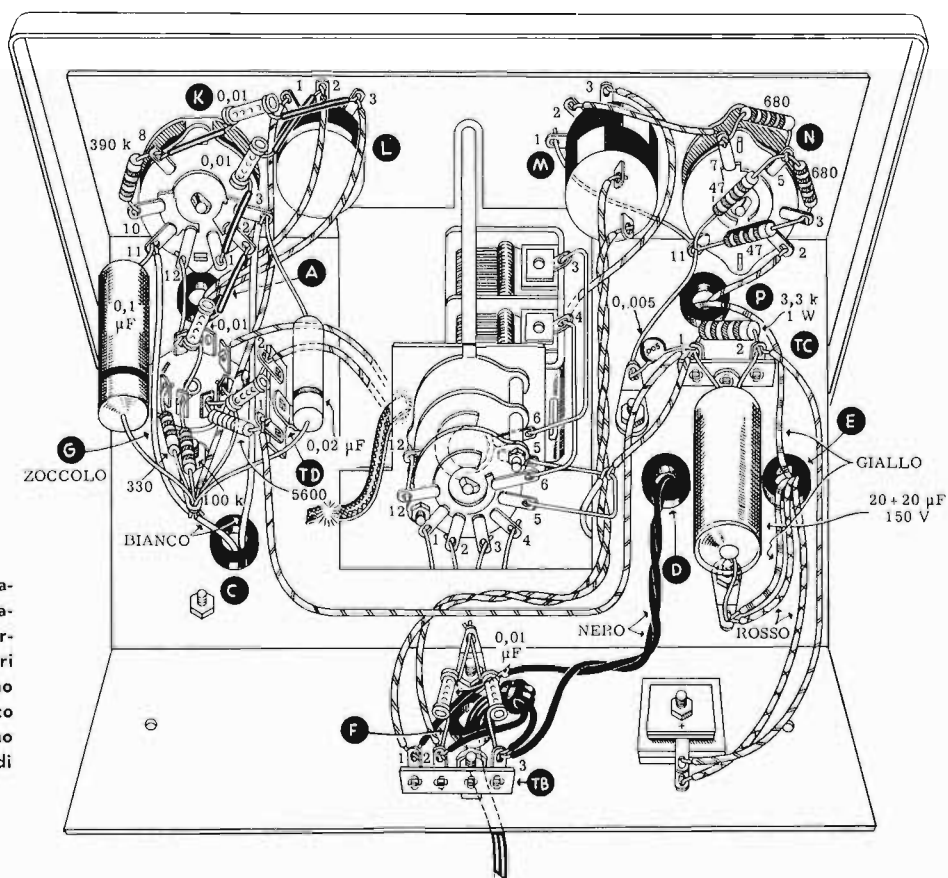



Fig. 8 - Aspetto del telaio maggiore, montato, visto internamente. Anche qui, per facilitare la realizzazione, sono stati riportati i valori di alcuni componenti. I colori dei collegamenti al trasformatore devono essere rispettati. I numeri di riferimento presenti ai contatti del commutatore sono riportati anche sullo schema elettrico di Figura 1.

La **figura 4** illustra le bobine delle prime quattro gamme, nonchè i collegamenti rigidi che costituiscono le bobine della gamma *E*.

Nella **figura 5** è invece visibile la chassis che supporta l'intero apparecchio, visto dal di sotto. Si noti la po-

Il montaggio elettrico

Come in tutte le apparecchiature elettriche, si inizia con l'applicazione del condutore di massa, consistente in un filo rigido di rame stagnato del diametro di alme-

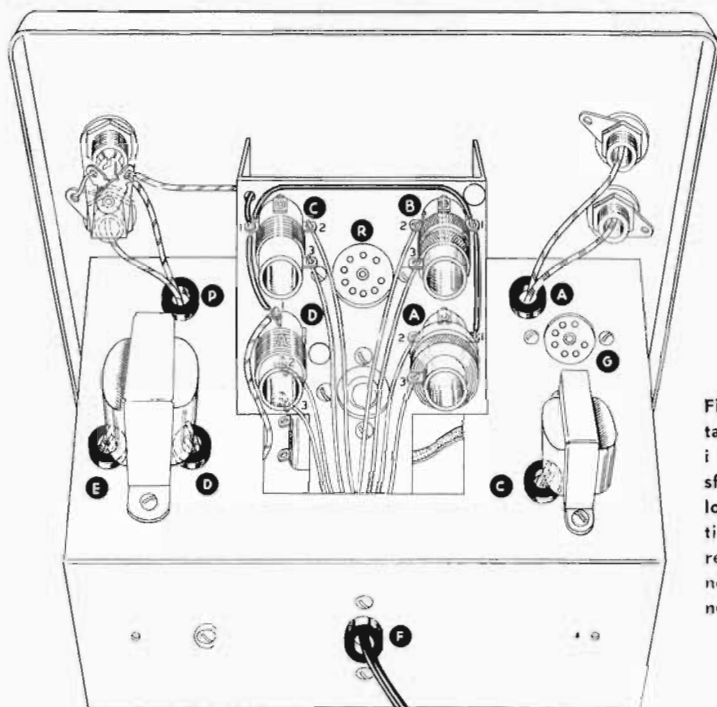



Fig. 9 - Veduta della parte superiore dell'intero telaio, dopo il montaggio. Si noti la posizione del telaio minore sul quale sono montati i componenti della sezione di Alta Frequenza. Sono visibili il trasformatore di alimentazione, e l'induttanza di Bassa Frequenza, collocati ad una distanza tale tra loro da evitare accoppiamenti induttivi. Sulla parte verticale posteriore del telaio si nota il cordone di rete facente capo alla basetta di ancoraggio collocata all'interno. Si notino anche le prese di uscita dell'Alta e della Bassa Frequenza, nonchè la lampada spia.

no 2 mm, al quale fanno capo tutti i terminali collegati a massa.

I componenti forniti con la scatola di montaggio (ossia le resistenze, i condensatori, ecc.), sono muniti di terminali notevolmente più lunghi di quanto necessario. Essi dovranno essere pertanto tagliati di volta in volta alla lunghezza opportuna, non senza averli precedentemente ricoperti — ove è necessario — di tubetto sterlingato.

Si procederà poi con il cablaggio della sezione di alimentazione, ossia del trasformatore, del rettificatore, e della cellula di filtraggio.

Il cablaggio vero e proprio verrà eseguito in due fasi distinte: si monterà prima lo chassis di maggiori dimensioni, sul quale sono presenti la valvola 6C4, lo alimentatore, il pannello, ecc. In seguito, si monterà lo chassis più piccolo, che supporta l'oscillatore ad Alta Frequenza, consistente nella valvola 12*AU*7, nelle bobine, nel commutatore di gamma, e nei piccoli componenti ad essi associati. Le due unità verranno in seguito unite sia meccanicamente che elettricamente.

La **figura 6** illustra lo chassis della sezione ad Alta Frequenza, con tutti i suoi componenti, visto dal di sopra; **la figura 7** illustra il medesimo chassis visto invece dal di sotto. Seguendo il circuito elettrico, ed osservando le lettere ed i numeri di riferimento riportati in ciascuna figura, non sarà difficile al lettore riconoscere i vari componenti ed i relativi collegamenti.

La **figura 8** illustra l'apparecchio montato, visibile anche dal lato opposto nella **figura 9**. In quest'ultima, per maggior chiarezza, non sono state riportate le valvole.

Preparazione del cavo di uscita

Una volta terminato il cablaggio dello strumento, si può provvedere alla preparazione dei cavi esterni. Le varie operazioni sono illustrate alle **figure 10** e **11**.

Come si nota, uno dei terminali del cavetto schermato è collegato allo spinotto a vite, anch'esso schermato. L'altro terminale — invece — fa capo ad una coppia di pinze a coccodrillo, e serve per applicare il segnale ad Alta o Bassa Frequenza all'apparecchiatura sotto prova.

Innanzitutto si toglie la molla a spirale di protezione del cavo della presa, allentando l'apposita vite laterale. Tale molla deve essere infilata sul cavo, in modo tale che l'estremità avente un diametro inferiore sia rivol-

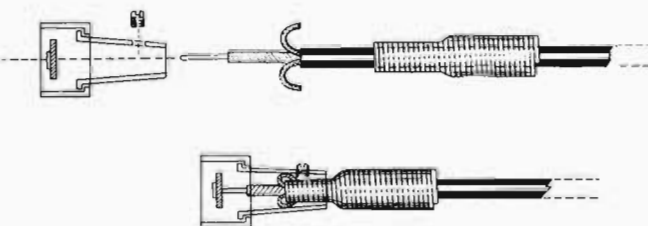



Fig. 10 - Sistema di collegamento del raccordo a vite del cavo di uscita. E' indispensabile evitare qualsiasi possibilità di corto-circuito tra il conduttore centrale e la calza schermante.

ta verso il capo cui verrà adattata la presa stessa. Indi si asporta l'isolamento esterno del cavo per la lunghezza di 20 mm circa, e si spinge indietro la calza metallica dello schermo, rivoltandola come una « manica di camicia ». In tal modo è facile adattarla sulla molla di protezione assicurando il contatto tra la calza e la molla stessa, come indicato nella figura. Ciò fatto, si toglie l'isolamento del conduttore interno per la lunghezza di 3 mm circa, e, dopo aver introdotto il cavo nella parte non filettata della presa, ossia nel foro posteriore, si spinge il cavo stesso finchè la parte nuda del conduttore centrale emerge nel foro centrale del dischetto isolante presente all'interno del bordo filettato. In tal punto verrà effettuata la saldatura depositandovi una goccia di stagno, il più possibile lucida e rotonda.

Alla fine si introdurrà nella sua sede, fino in fondo, la molla di protezione in contatto con la calza metallica, e si stringerà di nuovo la vite laterale di fissaggio.

La figura 11 illustra il sistema di collegamento delle pinze a coccodrillo corrispondenti al terminale opposto. In questo caso, l'isolamento esterno viene asportato per la lunghezza di circa 10 cm. Ciò fatto, si spinge indietro la calza metallica consentendo così alle sue maglie di allargarsi. In un punto prossimo a quello in cui ha inizio l'isolamento esterno, ossia alla distanza di circa 10 cm dal terminale, dette maglie vengono allargate con l'aiuto di una pinzetta a molla, in modo da estrarne lateralmente il conduttore centrale. Dopo averlo estratto completamente, la calza metallica rimasta vuota verrà tesa in modo da costituire un secondo conduttore nudo. Alla fine si applicheranno ai due terminali le pinze a coccodrillo mediante saldatura, ed il cavo è pronto per l'uso.

Fig. 11 - Preparazione dei terminali cui vanno applicate le pinze a coccodrillo. La lunghezza dei due segmenti (circa 10 cm), è sufficiente per consentire il collegamento ai vari punti del circuito del ricevitore sotto prova.

Collaudo e messa a punto

Circa le norme di collaudo, valgono anche qui le considerazioni fatte in altre occasioni. Si controlli con la massima cura l'esattezza dei collegamenti confrontando l'apparecchio realizzato con lo schema elettrico e con le varie figure: prima di accendere l'apparecchio, si verifichi con un ohmetro (in una portata alta) che non vi siano corto circuiti ai capi della tensione anodica, ossia tra i poli del secondo elettrolitico di filtro. Senza inserire le valvole nei portavalvola relativi, si inserisca il cordone rete in una presa di corrente, assicurandosi che la tensione disponibile sia adatta al primario del trasformatore di alimentazione. Tale avvolgimento, come illustrato alla **figura 12,** può essere adattato alla due tensioni di 110 o 220 volt, a seconda che le due sezioni del primario vengano collegate rispettivamente in parallelo o in serie. Se la tensione di rete disponibile non ammonta nè a 110 nè a 220 volt, è indispensabile l'uso di un autotrasformatore o trasformatore da 30 watt circa.

Dopo aver acceso l'apparecchio mediante l'interruttore abbinato all'attenuatore di uscita (M), contrassegnato « RF OUTPUT » sul pannello, verificare con il tester adattato alla misura di tensioni alternate che ai filamenti delle due valvole venga applicata una tensione di circa 6 volt, e che — tra l'ingresso del rettificatore e la massa — sia presente una tensione alternata di circa 50 volt. La lampada spia del pannello deve accendersi.

Se tutto è in ordine, si può spegnere l'apparecchio, inserire le due valvole, e riaccenderlo per misurare le tensioni continue A tale scopo, riportiamo la seguente tabellina mediante la quale è possibile controllare che le tensioni presenti ai vari elettrodi delle valvole siano esatte, entro il 10% del valore dichiarato.

VALVOLA	PIEDINI								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
6C4	65	*NC*	6,3 alt.	0	65	—6,5	1		
12AU7	65	—2	2,5	6,3 alt.	6,3 alt.	85	*	0	0

NC = Non collegato
* = Da — 3 a — 30 volt, a seconda della gamma

Se tutte le tensioni sono esatte, non resta che controllare il funzionamento, il quale è già assicurato dalla presenza di una tensione sul piedino N. 7 della valvola 12*AU*7.

Il valore della tensione misurata non ha alcuna importanza. Essa è presente con un'ampiezza dipendente dalla frequenza, soltanto se la valvola oscilla. La mancanza di tale tensione, ossia di qualsiasi spostamento da parte dell'indice dello strumento adattato alla misura di 50 volt in C.C. e collegato col puntale positivo a massa ed il puntale negativo al piedino del portavalvola, significa che la valvola stessa non produce alcuna oscillazione ad Alta Frequenza. In tal caso occorrerà rivedere l'intero circuito e controllare ancora una volta l'esattezza dei collegamenti.

Fig. 12 - Mediante il collegamento in serie o in parallelo delle due sezioni del primario del trasformatore di alimentazione, è possibile predisporlo per tensioni di rete rispettivamente di 220 o 110 volt.

A questo punto occorre una precisazione: la taratura dello strumento, ossia la « messa a punto » delle varie scale tarate, è già stata fatta in fabbrica su un apparecchio identico già montato. Essa pertanto tiene conto della capacità dei collegamenti, delle induttanze disperse, e di tutti i fattori che intervengono. In linea di

massima dunque, non è necessaria alcuna messa a punto: le frequenze indicate dall'indice sulle varie scale relative alle diverse gamme, devono corrispondere alle frequenze effettivamente prodotte, con una tolleranza compresa tra il 2 ed il 3%. Qualsiasi differenza notevole non può essere dovuta che ad errori di collegamento, o ad inversione delle bobine. Non possiamo suggerire al lettore di confrontare la taratura con quella di un altro strumento analogo, in quanto nessuno di essi può essere considerato come « generatore campione », a meno che non si tratti appunto di un generatore di tale tipo, di precisione indiscutibile.

E' tuttavia possibile effettuare un controllo sufficientemente esatto. Il metodo verrà descritto al termine delle norme relative alla tecnica di impiego, in quanto è prima opportuno conoscere l'uso dei vari controlli.

Tecnica di impiego

Circa l'uso di questo strumento, non è possibile per il momento dare tutti i dettagli, in quanto il lettore potrà comprendere le varie applicazioni solo dopo aver conosciuto a fondo il ricevitore supereterodina. Per ora, ci basti dunque conoscere la funzione dei controlli e delle prese presenti sul pannello. La tecnica di taratura sarà tra breve oggetto di una lezione dettagliata.

Le due prese visibili sul pannello, in alto a sinistra, servono per il collegamento alla sezione di Bassa Frequenza. A seconda che il selettore contrassegnato « MODULATION » (modulazione), posto immediatamente al di sotto di tali prese, sia in posizione « EXT » (esterna) o « INT » (interna), è possibile rispettivamente collegare un segnale modulante esterno alla presa « IN » (ingresso), o prelevare il segnale a 400 Hz dalla presa « OUT » (uscita). Ovviamente, in posizione « INT », il segnale a 400 Hz, oltre ad essere disponibile alla presa « OUT », viene applicato al segnale ad Alta Frequenza prodotto dallo strumento, in modo da ottennere in uscita un segnale modulato.

La manopola contrassegnata « AF IN-OUT » (Bassa Frequenza inclusa o esclusa), compie — come abbiamo detto dall'inizio — due funzioni distinte. Seguendo le posizioni dei controlli presenti sul pannello, si nota che, se il selettore è in posizione « INT », esso consente di variare da zero al valore massimo il segnale di Bassa Frequenza disponibile alla presa « OUT ». Se invece detto selettore è in posizione « EXT », esso consente di variare l'ampiezza del segnale esterno applicato alla griglia della 6C4, tramite la presa « IN ».

Le due manopole in basso a destra costituiscono il complesso dell'attenuatore. La prima, contrassegnata « RF OUTPUT » (uscita a radiofrequenza) consente la variazione continua del segnale di uscita ad Alta Frequenza, ed agisce sia sull'interruttore di accensione dello strumento, che sul potenziometro contrassegnato « M » sullo schema di figura 1. La seconda, ossia l'ultima a destra, aziona invece il mlotiplicatore (« N » sullo schema). Tale manopola, contrassegnata « RF STEPS », ha tre posizioni, corrispondenti a tre livelli del segnale di uscita, e precisamente « LOW » (basso), « MEDIUM » (medio), e « HIGH » (alto). In altre parole, in ciascuna di queste tre posizioni, è possibile variare l'ampiezza del segnale di uscita tra zero ed il valore massimo agendo sul controllo potenziometrico « RF OUTPUT ».

Il cavetto schermato di uscita deve essere collegato alla presa « RF OUT » (uscita a radiofrequenza). Si rammenti a tale scopo che il terminale corrispondente alla pinza a coccodrillo facente capo alla calza metallica costituisce il collegamento di massa (terra). Detto cavo schermato può essere collegato anche alla presa «AF OUT» qualora si desideri prelevare il segnale a 400 Hz.

Infine, la manopola centrale, provvista di indice, consente la comoda lettura dei valori di frequenza sulle cinque scale corrispondenti alla varie gamme. Dette scale sono tarate in kHz per le frequenze minori, ed in MHz per le frequenze più elevate.

L'uso dello strumento consiste semplicemente nel prelevare in uscita un segnale ad Alta Frequenza, modulato a 400 Hz, o da un segnale esterno, o ancora non modulato, e nell'iniettarlo all'ingresso di un ricevitore tramite le prese di antenna e terra, o in determinati punti del circuito di un ricevitore. In tal modo è possibile sia effettuare l'allineamento dei vari circuiti accordati, sia individuare il mancato funzionamento di uno o più stadi, sia valutare l'amplificazione da parte di una valvola. Ovviamente, il segnale applicato allo apparecchio sotto prova ha la frequenza e l'ampiezza determinate dalle posizioni dei relativi controlli.

Controllo della taratura

Agli effetti del controllo della frequenza prodotta dal generatore, cui abbiamo precedentemente fatto cenno, esso può essere effettuato in un modo relativamente semplice. Disponendo di un radio ricevitore in buone condizioni di funzionamento, basta sintonizzarlo su una stazione trasmittente la cui frequenza di trasmissione sia nota. Tale frequenza può essere ricavata da diverse fonti, come ad esempio le pubblicazioni relative ai programmi delle radiotrasmissioni. Una volta sintonizzato l'apparecchio, durante la ricezione della emittente scelta, è sufficiente iniettare nel ricevitore, contemporaneamente, il segnale prodotto dal generatore, avente la medesima frequenza. A tale scopo, dando al segnale prodotto una certa ampiezza mediante l'attenuatore, si varia la sintonia fino ad udire nello altoparlante un sibilo a frequenza variabile, creato dal battimento tra i due segnali ad Alta Frequenza che entrano nel ricevitore.

Una volta udito detto sibilo, senza più variare la sintonia del ricevitore, che deve restare esattamente accordato sulla emittente, si varia quella del generatore lentamente, finchè il sibilo diventa un rumore di frequenza sempre più bassa, fino a scomparire totalmente o quasi. In tal caso, la frequenza del segnale prodotto sarà eguale a quella della emittente ricevuta. Leggendo il valore indicato dall'indice, sarà facile notare che, con la tolleranza dichiarata, il valore corrisponde alla frequenza della emittente.

Tale controllo potrà essere effettuato su varie frequenze, prendendo come campione varie emittenti di frequenza nota. Sarà così possibile controllare vari punti delle diverse scale.

DOMANDE sulle LEZIONI 67ª e 68ª

N. 1 —
Quali sono le applicazioni principali in cui si fa uso di un circuito oscillatore?

N. 2 —
Quali sono i componenti il cui valore determina la frequenza del segnale prodotto da un oscillatore ad A.F.?

N. 3 —
Quali sono i metodi principali mediante i quali si ottengono le oscillazioni?

N. 4 —
Come vengono applicati?

N. 5 —
Quali e quanti sono i metodi mediante i quali è possibile constatare il funzionamento di uno stadio oscillatore?

N. 6 —
Per quale motivo, in un oscillatore, la griglia deve essere autopolarizzata?

N. 7 —
Se in un circuito « Hartley » si ha nel circuito oscillante una induttanza di 1 mH, ed una capacità di 1.000 pF, quale è la frequenza delle oscillazioni prodotte?

N. 8 —
Per quale motivo, in un oscillatore del tipo « Colpitts », l'alimentazione deve essere in parallelo?

N. 9 —
In quale modo si ottiene l'accoppiamento reattivo in un oscillatore a sintonia di placca e di griglia?

N. 10 —
Per quale motivo in un oscillatore ad accoppiamento elettronico, la stabilità di frequenza è pressochè indipendente dalle caratteristiche del carico?

N. 11 —
Cosa si intende per « effetto piezoelettrico »?

N. 12 —
In un oscillatore a cristallo, come deve essere la frequenza di accordo del circuito oscillante di placca?

N. 13 —
Quali sono i componenti di un oscillatore a B.F. che differiscono da quelli di un oscillatore ad A.F.?

N. 14 —
Quali sono i componenti che determinano la frequenza delle oscillazioni, in un oscillatore a « ponte di Wien »?

N. 15 —
In un « ponte di Wien », quale è il compito della lampadina o del termistore?

N. 16 —
Per quale motivo in un oscillatore a « spostamento di fase » vi sono tre cellule RC nel circuito di griglia?

N. 17 —
Quale è il compito della controreazione, o reazione negativa, in un oscillatore a Bassa Frequenza?

N. 18 —
Cosa si intende per « fondamentale » e per « armonica »?

RISPOSTE alle DOMANDE di Pag. 521

N. 1 — Sei. In tal caso la valvola viene chiamata ottodo. Non esistono valvole con un numero maggiore di griglie.

N. 2 — Perchè, riunendo due o più unità in un unico bulbo, si ottiene una economia di materiale e di spazio. Consentono la realizzazione di apparecchiature più compatte ed economiche.

N. 3 — Perchè, dal momento che la corrente passa soltanto quando il gas è ionizzato, se la tensione viene ridotta dopo la ionizzazione, la corrente si trova a percorrere un gas già in tale stato. Riducendo detta tensione oltre un certo limite (tensione di estinzione), la valvola si spegne.

N. 4 — In una valvola a gas per corrente alternata, i due elettrodi hanno le medesime dimensioni, e la luminosità è eguale in prossimità di entrambi. In una valvola a corrente alternata, invece, il catodo ha dimensioni maggiori, e la luminosità si manifesta solo in prossimità di tale elettrodo. Il tipo per c.a. può funzionare anche in c.c., mentre una valvola per c.c. non può funzionare con corrente alternata.

N. 5 — La massima tensione che, applicata con polarità opposta a quella normale, è di poco inferiore a quella necessaria per determinare la ionizzazione. E' indispensabile tenerne conto onde non determinare lo innesco con la polarità opposta.

N. 6 — Vapore di mercurio.

N. 7 — Per dar modo al mercurio — che si trova allo stato liquido quando la valvola è spenta — di evaporare.

N. 8 — Un triodo nel cui bulbo è presente un gas rarefatto.

N. 9 — La minima distanza tra gli elettrodi, la minima superficie degli stessi, e l'assenza dello zoccolo.

N. 10 — Nel ricevitore a reazione non si ha — normalmente — amplificazione ad Alta Frequenza, ed il circuito LC di sintonia è — tranne casi particolari — uno solo.

N. 11 — Sei: rivelazione a diodo, per caratteristica di placca, ad impedenza infinita, a falla di griglia, a reazione ed a superreazione.

N. 12 — Innanzi tutto la scarsa selettività nei confronti della emittente locale. Inoltre, la sintonia è critica a causa dei caratteristici sibili della reazione. Per ultimo, irradia facilmente onde elettromagnetiche.

N. 13 — Il controllo automatico dell'amplificazione ad A.F. Serve a normalizzare la potenza di uscita, indipendentemente dalla intensità del segnale ricevuto.

N. 14 — Variando la polarizzazione di griglia delle valvole amplificatrici ad Alta Frequenza, e — di conseguenza — la loro amplificazione.

N. 15 — A « μ » variabile, ossia con le griglie controllo le cui spire sono spaziate in modo non uniforme.

N. 16 — Per compensare le inevitabili differenze tra le capacità dei vari settori di un condensatore variabile multiplo. Agendo sui compensatori, si adattano tutti i circuiti accordati in modo che funzionino esattamente sulla medesima frequenza.

COSTRUZIONE di un OSCILLATORE MODULATO a frequenze fisse

Caratteristiche generali

5 frequenze a sintonia fissa con selezione a commutatore: 262 - 455 - 465 - 600 - 1.400 kHz.

Precisione: ± 0,5%.

Taratura con cristallo esterno: sul pannello frontale sono montati due zoccoli per cristalli, selezionabili anche essi con commutatore.

Precisione: relativa ai cristalli usati (capacità di entrata 32 pF).

Segnale B.F.: 400 Hz sinusoidale.

Modulazione: interna, 400 Hz al 30%

Uscite disponibili: A.F., A.F. modulata, e B.F., selezionate mediante commutatore.

Controllo livello di uscita: variabile con continuità.

Livello di uscita B.F.: 10 volt eff. massimi.

Livello di uscita A.F.: 0,1 volt eff. massimi.

Valvola: 12AU7.

Alimentatore: a trasformatore con rettificatore al selenio.

Alimentazione: 105 - 125 V 50/60 Hz 10 watt.

Descrizione del circuito

L'oscillatore modulato ad Alta Frequenza mod. «TO-1», pur avendo prestazioni notevolmente inferiori a quelle del mod. « SG-8 » descritto alla lezione precedente, è utile sia per l'allineamento, sia per la ricerca dei guasti negli stadi ad Alta Frequenza dei ricevitori radio. La differenza consiste nel fatto che esso può produrre solo frequenze fisse, che possono essere sfruttate sia sul valore fondamentale, sia sulle armoniche. Mediante lo sfruttamento dei segnali di frequenza armonica, è infatti possibile utilizzare questo oscillatore anche per l'allineamento su onde corte. La semplicità con cui sono predisposte le diverse frequenze di allineamento, nonchè la possibilità di effettuare tarature accurate mediante un quarzo esterno, rendono questo apparecchio versatile, e nel complesso, assai utile. La **figura 1** ne illustra il circuito elettrico.

Oscillatore ad A.F.: l'oscillazione portante a radiofrequenza è anche qui generata mediante un circuito « Colpitts » con eccitazione in parallelo. In questo tipo di circuito (vedi **figura 2**), tra l'anodo e la griglia della valvola oscillatrice sono collegati i condensatori C_1, C_2, C_3, C_4, e l'induttanza L. La combinazione dei valori di quest'ultima e dei condensatori C_2 e C_3 è tale da provocare l'innesco di oscillazioni alla frequenza di risonanza del circuito stesso.

Il condensatore C_4 non altera la frequenza del circuito oscillante: la sua funzione è semplicemente quella di polarizzare la valvola mediante corrente di griglia, unitamente alla resistenza connessa in serie al catodo. Il condensatore C_1 blocca la componente continua (tensione anodica di alimentazione), ed evita che questa arrivi ai contatti del commutatore per la selezione della frequenza di oscillazione (vedi schema completo).

Questo circuito appartiene alla famiglia degli oscillatori detti « a tre punti », in cui la tensione di reazione viene fornita, anzichè da un avvolgimento di reazione, da un sistema di impedenze tali che le fasi del segnale misurate nei punti a e b rispetto a c (vedi figura 2) siano opposte.

Durante il processo di amplificazione, la valvola — come sappiamo — inverte la fase del segnale. Il circuito « a tre punti » — come abbiamo ora detto — porta in b un segnale di fase opposta rispetto a quello presente in a, ossia nuovamente in fase col preesistente segnale di griglia. In tale modo il segnale continua ad aumentare di ampiezza finchè la saturazione e la interdizione della valvola ne limitano l'ampiezza ad un valore costante. La frequenza è determinata dai valori di L, C_2 e C_3.

L'innesco delle oscillazioni avviene in modo automatico all'atto dell'accensione della valvola, ed è dovuta a minimi squilibri di corrente sempre esistenti nei circuiti elettrici (effetto di agitazione termica, potenziali di contatto, ecc.). La resistenza di catodo della valvola

Fig. 1 - Circuito elettrico dell'oscillatore modulato mod. TO-1. Sono riportati i valori della maggior parte dei componenti, nonchè le tensioni approssimative presenti nei punti più importanti del circuito.

Come si nota, viene impiegata una sola valvola (12AU7), ossia un doppio triodo. Una delle sezioni provvede alla produzione della frequenza acustica di modulazione (circa 400 Hz), mentre l'altra funziona come oscillatrice ad Alta Frequenza. Il circuito funziona su frequenze fisse determinate dal valore delle cinque induttanze commutabili.

Oltre alle frequenze previste, è possibile disporre di altre due frequenze mediante l'inserimento negli appositi zoccoli montati sul pannello frontale di due cristalli di quarzo. In tal caso, la frequenza di funzionamento è determinata dalle caratteristiche del cristallo impiegato. Ponendo il selettore di uscita sulla posizione « A. F. » (Audio Frequency = Frequenza acustica), è possibile disporre della sola frequenza di modulazione a 400 Hz per la prova degli stadi di amplificazione in Bassa Frequenza.

Fig. 2 - Schema separato del circuito « Colpitts » che provvede alla produzione del segnale ad Alta Frequenza.

oscillatrice (R_k) permette di utilizzare la corrente ad Alta Frequenza circolante nella valvola stessa. Da tale resistenza si diparte infatti il circuito per la regolazione del livello d'uscita del segnale.

La frequenza dell'oscillatore è commutabile su 5 valori prefissati commutando la bobina *L*.

Per l'impiego con cristallo esterno, i condensatori C_2 e C_3 e la induttanza *L* vengono esclusi dal circuito oscillatore e sostituiti direttamente dal cristallo. Il circuito diventa così un oscillatore « Pierce » (vedi lezione 67ª), nel quale tutti gli elementi reattivi necessari per stabilire una frequenza di oscillazione e per produrre le necessarie inversioni di fase tra placca e griglia, sono contenuti nel cristallo stesso (circuito equivalente).

Modulazione: la modulazione dell'oscillatore è ottenuta iniettando sulla griglia — mediante un circuito separato — una tensione audio a 400 Hz. In tale modo la polarizzazione della valvola oscillatrice viene variata contemporaneamente e dalla portante ad Alta Frequenza, e dal segnale audio. L'ampiezza è tale da determinare una profondità di modulazione del 30%. L'oscillatore risulta pertanto modulato in ampiezza attraverso il circuito di griglia.

Oscillatore audio: lo schema dell'oscillatore audio (vedi **figura 3**) è sostanzialmente identico a quello dell'oscillatore ad Alta Frequenza. Naturalmente, i valori delle reattanze impiegate sono adatti alla produzione di una frequenza acustica. L'induttanza — ad esempio

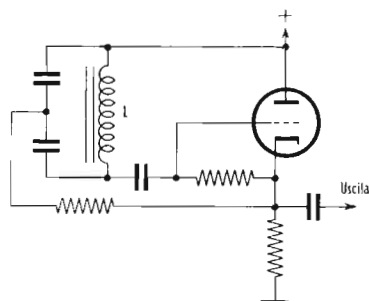



Fig. 3 - Anche per la produzione del segnale a Bassa Frequenza viene impiegato un circuito « Colpitts ». Come si nota, l'accoppiamento reattivo tra placca e griglia ha luogo attraverso l'induttanza avvolta su nucleo ferromagnetico. L'uscita viene prelevata ai capi della resistenza catodica, per cui è a bassa impedenza. Il segnale a 400 Hz così prodotto è anch'esso disponibile in uscita.

— è avvolta su nucleo di ferro per poter raggiungere il valore sufficiente. Anche i condensatori di sintonia sono di capacità alquanto elevata.

In questo circuito, come nell'oscillatore ad A.F., il segnale d'uscita è prelevato ai capi della resistenza di catodo ed è portato sul circuito di griglia dell'oscillatore per effettuarne la modulazione.

Alimentatore: il circuito usato è del tipo assolutamente convenzionale. L'alta tensione è ottenuta con un trasformatore e un rettificatore al selenio ad una semionda. Il filtraggio consiste in una cellula *RC* a due condensatori. Il basso consumo anodico dello strumento consente di sostituire l'impedenza convenzionale di filtro con una semplice resistenza. L'avvolgimento dei filamenti ha un capo a massa.

Il montaggio meccanico

Non abbiamo molti consigli da aggiungere a quanto già esposto per altre realizzazioni simili. Il montaggio meccanico inizierà dai componenti più pesanti e robusti, procedendo poi con gli accessori necessari alla stesura del cablaggio elettrico. Grazie al numero relativamente ridotto dei componenti, ciò non presenta alcuna difficoltà. Sul pannello si notano — nella parte superiore — i due zoccoli per i cristalli; in basso il connettore d'uscita e la lampada spia, nonchè tre fori per il fissaggio del commutatore di frequenza, del commutatore che seleziona il tipo di segnale, come pure del regolatore del livello d'uscita. Quest'ultimo è costituito da un potenziometro.

Il montaggio delle varie parti meccaniche e degli accessori del telaio su cui è eseguita la maggior parte del cablaggio può essere desunto dalle **figure 4** e **5,** ove sono pure visibili i primi collegamenti elettrici.

Il montaggio elettrico

Si inizierà — come di consueto — col cablaggio dell'alimentatore, quando il telaio non è ancora stato fissato al pannello frontale. I componenti interessanti questo circuito sono praticamente il trasformatore di alimentazione, il condensatore di filtro, e la basetta porta-resistenze con alcuni componenti minori.

Si faccia attenzione, durante il montaggio, alla corretta polarità dei condensatori elettrolitici di filtro: il polo negativo, comune ad entrambi, è costituito dallo involucro esterno di alluminio, dotato di apposito terminale. I poli positivi sono presenti sul lato opposto della cartuccia, su un apposito dischetto in fibra isolante.

Terminato il cablaggio dell'alimentatore, si passa al circuito oscillatore a B.F., montato sulla parte inferiore del telaio. Gli elementi di questo circuito sono l'induttanza avvolta su nucleo di ferro, lo zoccolo della valvola, e due basette di ancoraggio. Durante le saldature eseguite sullo zoccolo e sulle basette, occorre evitare di abbondare nell'applicazione di stagno e di surriscaldare le parti. Ciò causa perdite di isolamento con conseguenti instabilità o irregolarità di funzionamento. In tal caso, la messa a punto — che in questo strumento è assai ridotta — diventa alquanto più laboriosa.

Una volta terminato il cablaggio di questi due circuiti, è necessario collegare meccanicamente il telaio al pannello per iniziare il montaggio dei circuiti dello oscillatore ad Alta Frequenza, nonchè dei comandi.

Le **figure** 6 e 7 illustrano alcuni particolari dei comandi relativi al tipo di segnale ed al controllo del livello d'uscita. Si notino, con maggiore dettaglio, le saldature da eseguirsi sul potenziometro e sul commutatore relativi a questi due comandi.

La **figura** 8 illustra la parte superiore del pannello, fissato al telaio. Come si nota, la valvola è rivolta verso il basso, onde consentire brevi collegamenti tra lo zoccolo ed il commutatore.

In fase di progetto, si è già provveduto a stabilire un alto grado di disaccoppiamento tra i circuiti oscillatori (che sono montati su parti opposte del telaio), e l'alimentatore. Quest'ultimo è raccolto in un angolo dello stesso. La disposizione dei diversi componenti è tale da consentire la minima lunghezza dei collegamenti.

Il cavo d'uscita del segnale è collegato allo strumento con attacchi di tipo microfonico. Occorre fare molta attenzione nel togliere l'isolamento del cavo nonchè nell'eseguire le relative saldature sul connettore, al fine di evitare contatti accidentali dovuti ad eventuali baffi di filo appartenenti alla calza schermante, tra questa e il conduttore interno. E' bene applicare una quantità minima di stagno affinchè eventuali residui di pasta salda non provochino dispersioni lasciando depositi nei connettori.

Il cordone per l'alimentazione dell'apparecchio dalla rete è fissato con un anello di gomma. Terminato in tal modo il montaggio dello strumento si può iniziare il collaudo e la messa a punto.

Collaudo e messa a punto

Se il montaggio ed il cablaggio sono stati eseguiti con attenzione e senza errori, lo strumento funzionerà immediatamente. Occorre qui ricordare che l'apparecchio è fatto per funzionare con tensione di 110 volt, per cui — nel caso che la tensione di rete sia diversa — occorrerà usare un autotrasformatore. Prima di mettere in funzione lo strumento, si controlli con cura che tutti i residui di filo e di stagno siano stati eliminati dall'interno del telaio. Misurare anche con l'ohmetro che non vi siano cortocircuiti o perdite di isolamento tra il cordone di alimentazione e il telaio stesso.

La resistenza misurata ai capi della spina di rete deve essere di circa 120-130 ohm con interruttore di accensione chiuso. Si misuri la resistenza di isolamento tra i piedini 1 e 5 della basetta di ancoraggio dell'alimentatore. L'ohmetro deve indicare una resistenza di almeno 100 kohm una volta che si siano caricati i condensatori elettrolitici di livellamento. Tale valore di resistenza non deve variare commutando il comando che sceglie il tipo di segnale (A.F., B.F o A.F. mod.). Controllare con una pinzetta a molla, senza esercitare eccessiva trazione, che le diverse saldature non siano « fredde » e che in esse inoltre non esistano segmenti di filo la cui piegatura accidentale possa provocare corto-circuiti tra componenti diversi dello strumento. E' bene porre molta attenzione, ed ispezionare — almeno visualmente — nel caso non si disponga di un ohmetro, che non esistano contatti a bassa resistenza tra i piedini 1 e 6 dello zoccolo della valvola, tra i punti 1 e 4 della basetta a 4 posti, tra i contatti 7, 8 e 9 del commutatore di segnale nonchè tra i vari terminali della basetta di ancoraggio dell'alimentatore.

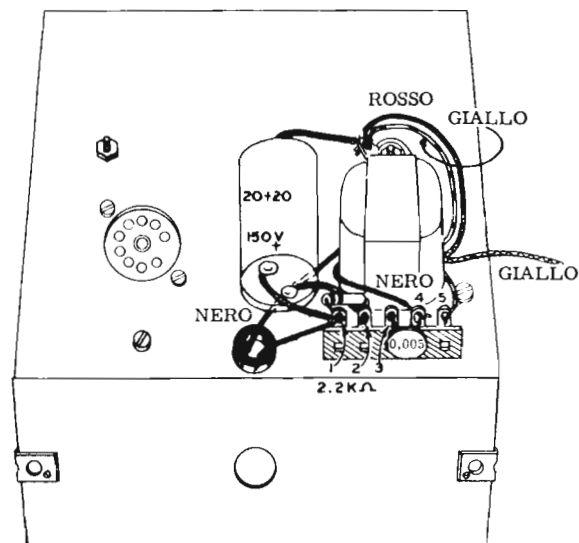



Fig. 4 - Disposizione dei componenti più ingombranti sul telaio. Si noti la posizione del trasformatore e l'orientamento dello zoccolo portavalvola. Il rettificatore viene collegato alla basetta, tra i contatti 2 (+) e 5 (—).

Tutti i punti citati si trovano ad un alto potenziale rispetto alla massa, per cui ogni eventuale perdita di isolamento verso massa danneggerebbe gravemente l'alimentatore deteriorando facilmente il rettificatore al selenio.

Comandi esterni: il commutatore della frequenza, (in centro) predispone 5 diverse frequenze oppure due posi-

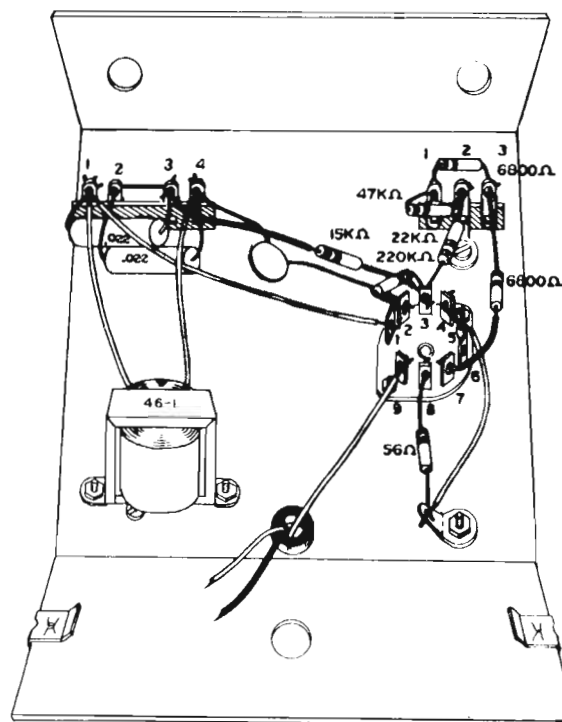



Fig. 5 - Aspetto della parte superiore del telaio interamente montata. Si notino i componenti fissati alle basette di ancoraggio.

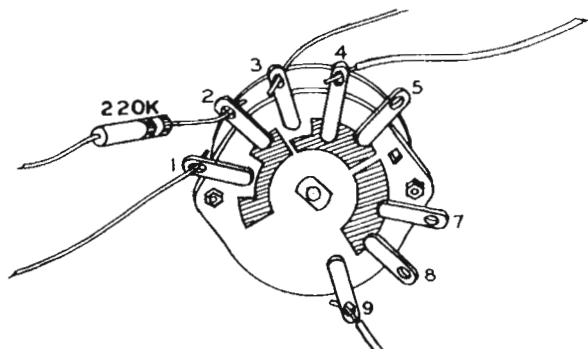



Fig. 6 - Collegamenti particolari al selettore di uscita. Si notino le posizioni reciproche dei contatti, nei confronti del rotore.

zioni di taratura con cristalli esterni. Il commutatore del segnale d'uscita, (a sinistra) predispone lo strumento per l'uscita di un segnale ad Alta Frequenza modulato, non modulato, o della sola Bassa Frequenza: tale comando provvede anche a commutare la tensione dei relativi stadi oscillatori. L'attenuatore, (a destra), consente di variare l'ampiezza del segnale. Al centro — in basso — è presente la lampada spia, e — immediatamente sotto — la presa per il collegamento del cavo. Come si nota osservando lo schema di figura 1, l'interruttore di accensione è abbinato al potenziometro dell'attenuatore. Non ci dilunghiamo sulla preparazione del cavo, in quanto il procedimento è analogo a quello descritto alla lezione precedente.

Se l'apparecchio funziona regolarmente, occorre provvedere ora alla messa a punto ed alla taratura delle frequenze. Non si tocchino i nuclei delle bobine dello oscillatore se non si ha modo di controllare la frequenza con un secondo strumento avente una precisione di almeno ± 0,1%. La posizione di questi nuclei è infatti pre-regolata dalla ditta costruttrice, e non dovrebbe

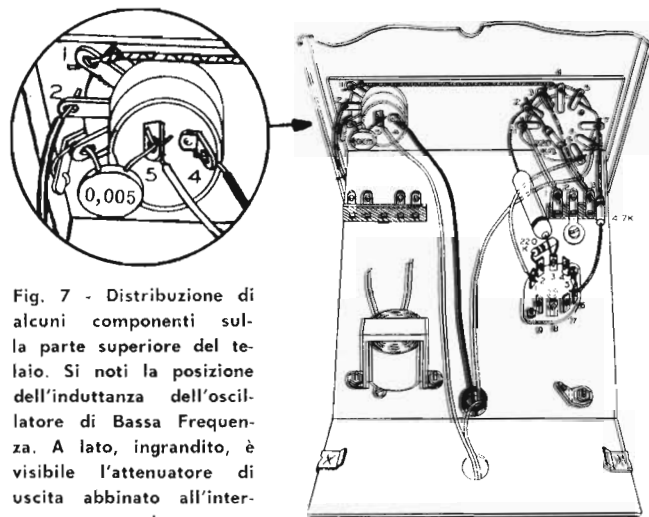



Fig. 7 - Distribuzione di alcuni componenti sulla parte superiore del telaio. Si noti la posizione dell'induttanza dell'oscillatore di Bassa Frequenza. A lato, ingrandito, è visibile l'attenuatore di uscita abbinato all'interruttore generale.

verificarsi la necessità di eseguire un riallineamento.

Accendere lo strumento, e portare il selettore del segnale nella posizione « MOD. R.F. » (Alta Frequenza modulata). La lampada spia deve accendersi e così i filamenti della valvola. Commutare lo strumento sulla posizione 262 kHz e sintonizzare un ricevitore radio che si sarà posto in vicinanza dello strumento, sulla frequenza di 786 kHz, (ossia sulla terza armonica del segnale generato dall'oscillatore). Ciò consentirà di udire dall'altoparlante del ricevitore, una nota musicale di circa 400 Hz. Portare quindi il selettore del segnale sulla posizione « A.F. » (=Audiofrequenza): in tal caso la nota deve cessare. Si dovrebbe notare, contemporaneamente, un aumento del rumore di fondo nel radioricevitore. A questo punto, portare il selettore del segnale sulla posizione « R.F. »: non si deve più udire alcuna nota acustica, ma il rumore di fondo del radioricevitore deve cessare. Variare la sintonia del ricevitore per accertarsi di ciò.

Si ripetano simili controlli per le altre frequenze, sintonizzando ogni volta il radioricevitore su un'armonica di una delle frequenze prodotte dallo strumento. Le frequenze di 600 e 1.400 Hz possono invece essere sintonizzate sulla fondamentale perchè rappresentano i limiti della gamma ad onde medie. Terminate queste prove, si può richiudere lo strumento nella sua custodia metallica.

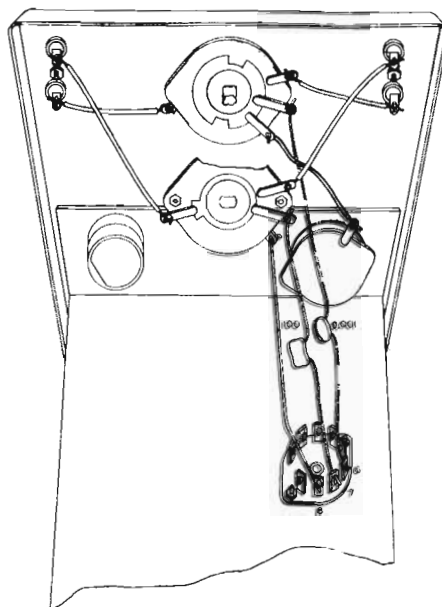



Fig. 8 - Collegamenti tra il commutatore di frequenza, fissato al pannello, ed i componenti installati sul telaio. Il commutatore è raffigurato — per comodità — con le due sezioni separate.

Questo oscillatore non ha pretese di impieghi quale campione di frequenze: i segnali da esso generati possono presentare uno scarto — sulla fondamentale — anche di 2 kHz. Ciò non rappresenta un problema nella taratura di radioricevitori per uso domestico. La frequenza può inoltre variare di qualche centinaio di Hz inserendo la modulazione. L'utilità dell'oscillatore «TO-I» può naturalmente essere aumentata con l'uso di cristalli esterni, la cui precisione è assai più elevata.

Nel caso che lo strumento non funzionasse, procedere anzitutto da un controllo attento di tutto il cablaggio. Quasi certamente si tratterà di un errore. In caso diverso, accertarsi che non esistano dei componenti difettosi, come ad esempio trasformatore interrotto, valvola difettosa, ecc. Accertarsi che non vi siano surriscaldamenti eccessivi. Misurare le tensioni riportate nello schema generale. I valori letti non debbono differire di oltre il 20% rispetto a quelli indicati. Queste indicazioni dovrebbero essere più che sufficienti per risalire al guasto.

per RILEGARE

le lezioni del "Corso di RADIOTECNICA„ potete ora disporre di una apposita, razionale copertina - imitazione pelle - con diciture in oro.

La copertina viene fornita con tutto il necessario atto a formare un vero e proprio volume: non si tratta quindi di un semplice raccoglitore, ma di un sistema, brevettato, che consente a chiunque di rilegare, da se, i diversi fascicoli.

Questa copertina prevede la raccolta di 26 fascicoli (metà Corso) - volume 1° -

POTETE EVITARE QUALSIASI ALTRA SPESA PER FORMARE IL VOSTRO VOLUME

L'INVIO VIENE EFFETTUATO A MEZZO POSTA E LE RICHIESTE — ACCOMPAGNATE DALL'IMPORTO DI LIRE 880 + 100 (RIMBORSO SPESE SPEDIZIONE) = **LIRE 980** - DEVONO ESSERE INDIRIZZATE DIRETTAMENTE AL **« CORSO DI RADIOTECNICA » - VIA DEI PELLEGRINI 8/4 - MILANO.**

L'IMPORTO DI LIRE 980 PUO' ESSERE VERSATO SUL CONTO CORRENTE POSTALE N. 3/41203, MILANO. — SI PREGA DI SCRIVERE IN MODO MOLTO CHIARO IL PROPRIO INDIRIZZO.

PER I SUCCESSIVI 26 FASCICOLI E' IN PREPARAZIONE LA COPERTINA CON LA DICITURA **« VOLUME II° »**. POTRA' ESSERE ACQUISTATA TRA QUALCHE TEMPO E, DATO IL PARTICOLARE SISTEMA, I FASCICOLI VI **POTRANNO ESSERE RILEGATI OGNI SETTIMANA.**

ALLA FINE DEL **« CORSO »** E' PREVISTA LA PUBBLICAZIONE DI UNA « ERRATA CORRIGE » E DI INDICI MOLTO UTILI E PRATICI PER LA RICERCA DEI VARI ARGOMENTI.

Anche se possedete già dei fascicoli del « Corso di RADIOTECNICA » VI POTETE ABBONARE

Calcolando un importo di lire 120 (centoventi) per ogni fascicolo in vostro possesso, detraete l'ammontare dalla quota di abbonamento. **Inviando la differenza** precisate i singoli numeri dei fascicoli esclusi.

Se vi interessano invece fascicoli arretrati affrettatevi a richiederli prima che qualche numero risulti esaurito. Attualmente possiamo spedire i fascicoli finora pubblicati, **a lire 150 cadauno** in luogo di lire 300 (prezzo normale degli arretrati).

Versamenti sul conto corrente postale N. 3/41.203 - Milano.

corso di RADIOTECNICA

pubblicazione settimanale - 11 - 18 marzo 1961 - un fascicolo lire 150 24° numero

corso di RADIOTECNICA

settimanale a carattere culturale

Direzione, Amministrazione, Pubblicità:
Via dei Pellegrini 8/4 - Telef. 593.478

MILANO

Ogni fascicolo — contenente 3 lezioni — costa lire 150, acquistato alle edicole.

Se l'edicola risulta sprovvista, o si teme di rimanere privi di qualche numero, si chieda invio settimanale direttamente al proprio domicilio a mezzo abbonamento.

Il versamento per ricevere i 52 fascicoli costituenti l'intero Corso è di lire 6500 + I.G.E. = lire 6630. A mezzo vaglia postale, assegno bancario, o versamento sul conto corr. postale 3/41.203 del « Corso di RADIOTECNICA » - Via dei Pellegrini 8-4 - Milano.

In ogni caso, scrivere in modo molto chiaro e completo il proprio indirizzo.

L'abbonamento può essere effettuato in qualsiasi momento; si intende comprensivo delle lezioni pubblicate e dà diritto a ricevere tali lezioni, che saranno inviate con unica spedizione.

Estero: abbonamento al Corso, Lit. 8.500. ($ 15). Numeri singoli Lit. 300 ($ 0,50).

Per i cambi di indirizzo durante lo svolgimento del Corso, unire lire 100, citando sempre il vecchio indirizzo.

Fascicoli singoli arretrati — se disponibili — possono essere ordinati a lire 300 cadauno.

Non si spedisce contrassegno.

Distribuzione alle edicole di tutta Italia: Diffus. Milanese . Via Soperga, 57 - Milano.

Direttore responsabile: Giulio Borgogno.

Autorizzaz. N. 5357 - Tribunale di Milano.

Stampa: Intergrafica S.r.l. - Cologno Monzese.

La Direzione non rivende materiale radio; essa può comunicare, se richiesta, indirizzi di Fabbricanti, Importatori, Grossisti ecc. in grado di fornire il necessario ed ai quali il lettore può rivolgersi direttamente.

Alla corrispondenza con richiesta di informazioni ecc. si prega allegare sempre il **francobollo per la risposta.**

Parte del testo e delle illustrazioni è dovuta alla collaborazione del Bureau of Naval Personnel, nonchè al Dept. of the Army and the Air Force - U.S.A.

A chi può essere utile questo Corso? Anzitutto — stante la sua impostazione — il Corso, basato sull'esposizione in forma a tutti accessibile, della radiotecnica, dai suoi elementi basilari alla evoluzione più recente, rappresenta la forma ideale per tutti coloro che intendono dedicarsi all'elettronica, sia come forma ricreativa sia — soprattutto — per l'acquisizione di una professione specializzata che possa procurare loro una posizione di privilegio in seno alla società odierna.

Anno per anno, la nostra civiltà si indirizza sempre più verso questa meravigliosa, si potrebbe dire fascinosa, elettronica, che nel modo più evidente consente sviluppi impensati, progressi grandiosi e una rapida evoluzione di tutti gli altri rami dello scibile che essa tocca e influenza.

L'industria, tutta l'industria, nel senso più ampio, da quella elettrotecnica a quella meccanica, alla metallurgica, alla chimica ecc., con i suoi laboratori di ricerca e le sue fabbriche richiede, e richiederà sempre più, con un ritmo rapidamente crescente, tecnici specializzati con conoscenza dell'elettronica, tecnici specificatamente elettronici e persino operai e impiegati di ogni ordine e categoria con cognizioni di elettronica.

Si può dire che anche le branche commerciali, quelle dei trasporti e persino quelle amministrative con le recenti introduzioni delle calcolatrici, abbisognano di personale che conosca i principi dell'elettronica, le macchine relative, il loro pieno sfruttamento, la eventuale riparazione ecc. e, quanto più in modo completo, quanto meglio.

Nasce, da una tale situazione, una logica conseguenza: per la scelta di una professione o di un mestiere, per un miglioramento della propria posizione sociale, per l'intrapresa di una libera attività o anche per la sola acquisizione di cognizioni che indubbiamente verranno oltremodo utili, è quanto mai opportuno riflettere se non sia conveniente dedicare un po' di tempo allo studio di questa scienza che ha tra l'altro il pregio di rendersi immediatamente attraente, concreta, accessibile e foriera di moltissime soddisfazioni.

A questo scopo appunto, e con questi intenti, è stato redatto questo Corso.

Non mancano invero altri corsi (specie per corrispondenza) o scuole di radiotecnica, nè mancano (sebbene siano in numero del tutto inadeguato) scuole statali o pareggiate ma la struttura e l'impostazione che caratterizzano queste 156 lezioni sono alquanto particolari, presentando non pochi vantaggi sulle diverse altre forme di cui si è detto.

Anzitutto vogliamo porre in evidenza **il fattore economico.**

Frequentare regolarmente, durante tutto l'anno, una scuola è certo il modo più logico — anche se non il più rapido — per apprendere ma, tralasciando il fatto che rarissimi sono gli Istituti di radiotecnica, è a tutti possibile dedicarsi esclusivamente, e per l'intero anno, allo studio? Noi riteniamo che chi può farlo costituisca oggi assai più l'eccezione che la regola. Ciò significa infatti poter disporre liberamente del proprio tempo senza avere la necessità di un contemporaneo guadagno: il nostro Corso permette a chiunque di studiare a casa propria, nelle ore libere dal lavoro, senza abbandonare o trascurare quest'ultimo. Ciò caratterizza invero anche altri corsi, ma il vantaggio economico diviene notevole ed evidentissimo se si considera che di fronte all'esborso, anche se rateale, di quasi 80.000 lire che i corsi per corrispondenza richiedono, seguendo il nostro Corso la spesa in un anno risulta di poco più di 7500 lire (150 lire alla settimana presso un'edicola) o di 6630 lire totali, con recapito postale, settimanale, delle lezioni a domicilio.

E' superfluo dire che la Modulazione di Frequenza, i transistori, i circuiti stampati, la trasmissione, il telecomando ecc. sono argomenti integrali del Corso e non costituiscono motivo di corsi speciali, aggiunti o particolari.

Le lezioni di questo Corso — a differenza di molte altre — non sono stampate con sistemi di dispensa, a ciclostile, o con sistemi più o meno analoghi, derivanti cioè da un originale battuto a macchina da scrivere; esse sono stampate in uno stabilimento grafico, con chiari caratteri tipografici da cui deriva una assai più agevole lettura e — fattore certamente di non secondaria importanza — un contenuto molto più ampio, corrispondendo una pagina a stampa a tre o quattro pagine di quelle citate. Il lettore avrà, alla fine del Corso, un volume di ben 1248 pagine di grande formato!

Chiunque, indipendentemente dall'età, dalla professione e dalle scuole compiute **può seguire il Corso.** Alle esposizioni teoriche si abbinano numerose, attraenti, istruttive ed utili descrizioni che consentono la realizzazione di ricevitori, amplificatori, strumenti vari e persino di trasmittenti su onde corte.

A questo proposito è sintomatico il fatto che la Direzione non vuole assolutamente assumere la fisionomia di un fornitore o commerciante di materiale radio, rivendendo agli allievi le parti necessarie. Il materiale occorrente l'interessato può acquistarlo dove e come meglio crede e, assai spesso anzi, già ne dispone. Viene così evitato l'acquisto forzoso, caratteristico più o meno di tutti gli altri corsi.

Anche chi è già radiotecnico, anche chi ha seguito o segue altri corsi troverà il massimo tornaconto in questo completo ed aggiornato lavoro. Molte nozioni, è logico, saranno note, altre un po' meno e sarà utile rinfrescarle, e il tutto infine costituirà un manuale di consultazione, prezioso tanto per la teoria esposta quanto per i numerosi schemi, per le tabelle, per i grafici, gli elenchi, i dati, il vocabolario dei termini ecc.

Concludendo, si può affermare che questo **Corso di Radiotecnica** oltre che come insegnamento graduale si presenta come **enciclopedia e rivista assieme** ciò che permette di formare — con modestissima spesa — **il più completo, ricco, utile e pratico volume di radiotecnica di cui sia dato oggigiorno disporre.**

LA SUPERETERODINA

La differenza sostanziale tra un ricevitore a stadi accordati ed un ricevitore del tipo **supereterodina** consiste nel fatto che nel primo il segnale presente all'ingresso viene amplificato alla sua medesima frequenza, mentre nel secondo viene amplificato ad una *nuova* frequenza, di valore più basso, detta **Media Frequenza.** Tale Media Frequenza nasce dalla combinazione del segnale modulato a radiofrequenza (*segnale entrante*) con un segnale prodotto da un circuito oscillatore contenuto nel ricevitore stesso (*segnale locale*).

Il circuito che produce nel ricevitore questo nuovo segnale viene perciò definito col nome di **oscillatore locale.** I due segnali vengono sovvrapposti, ossia combinati, in uno stadio che prende il nome di mescolatore, o *primo rivelatore*, o ancora **convertitore.**

Quando due segnali vengono sovrapposti in uno stadio mescolatore, quest'ultimo fornisce — in uscita — quattro segnali distinti di differente frequenza, e precisamente: il segnale d'ingresso, quello dell'oscillatore locale, un segnale la cui frequenza corrisponde alla somma di tali frequenze, ed un quarto segnale che corrisponde invece alla loro differenza. E' appunto quest'ultimo che, solitamente, viene usato come Media Frequenza (M. F.).

Sebbene la frequenza intermedia (Media Frequenza) sia diversa da quella del segnale ricevuto, essa presenta le medesime caratteristiche di modulazione di questo ultimo.

Gli inconvenienti ai quali abbiamo fatto cenno nello studio dei circuiti di ricezione a stadi accordati, sono stati, nella soluzione « supereterodina », pressochè del tutto eliminati. Infatti, qualsiasi segnale in arrivo, qualunque sia la sua frequenza, può anzitutto essere convertito in un segnale a frequenza intermedia: in tal modo può essere amplificato successivamente mediante stadi accordati su una frequenza fissa, ciò che è vantaggioso sia per quanto riguarda l'ammontare dell'amplificazione che per ciò che si riferisce alla selettività, come vedremo tra breve.

La maggior parte dei ricevitori supereterodina non ha attualmente uno stadio amplificatore ad A.F.; tuttavia — in alcuni casi — possono essere presenti una o più valvole il cui circuito di impiego è, per tale funzione, quello di un amplificatore a stadi accordati.

La frequenza dell'oscillatore locale viene mescolata a quella del segnale ricevuto, come si è detto, ad opera della valvola mescolatrice. All'uscita di quest'ultima è presente la Media Frequenza, avente le medesime caratteristiche di modulazione del segnale proveniente dall'etere.

Gli stadi che seguono il mescolatore sono provvisti — per l'accoppiamento — di circuiti risonanti sintonizzati in modo stabile sulla Media Frequenza, (trasformatori) per cui questa è la sola frequenza suscettibile di amplificazione. Successivamente, il segnale viene inviato allo stadio denominato *secondo rivelatore*, ossia al rivelatore vero e proprio. All'uscita di questo stadio — come sappiamo — è disponibile il segnale a frequenza acustica, che viene poi amplificato nel modo consueto da uno o più stadi a Bassa Frequenza, onde raggiungere la potenza necessaria ad eccitare un altoparlante.

La frequenza dell'oscillatore locale può essere più alta o più bassa di quella del segnale ricevuto, e deve esserlo di una quantità pari al valore della Media Frequenza. Se si adotta, ad esempio una M.F. di 460 kHz, ed una frequenza dell'oscillatore locale *maggiore* di quella del segnale ricevuto, l'intera gamma dell'oscillatore (necessaria per coprire la gamma delle onde medie che si estende da 500 a 1500 kHz), deve essere compresa tra 960 (ossia 500 + 460) e 1960 (ossia 1500 + 460) kHz. Ciò rappresenta un rapporto di circa 2:1 (ossia 1960 : 960 = 2 circa).

Consideriamo ora quale deve essere la gamma dello oscillatore, se si desidera farlo funzionare con frequenza *inferiore* a quella del segnale in arrivo. Riferendoci sempre ad una M.F. di 460 kHz, la frequenza più bassa dovrebbe essere di 500-460 = 40 kHz, e la più alta di 1500-460 = 1040 kHz, con un rapporto totale di 26:1 (infatti 1040 : 40 = 26). Come si vede, per ottenere tale gamma, sarebbe necessario, in tal caso, l'uso di un condensatore variabile con un rapporto tra la capacità massima e minima talmente elevato da non essere praticamente realizzabile. Questo è il motivo per il quale gli oscillatori locali funzionano, come norma, con una frequenza più elevata di quella del segnale da ricevere.

L'oscillatore locale di un ricevitore supereterodina deve avere caratteristiche tali da consentire la variazione di sintonia su di una gamma di frequenze di ampiezza pari alla gamma che si vuole ricevere. Allorchè si ricerca una data emittente sulla scala del ricevitore, si deve compiere contemporaneamente la sintonizzazione sia dell'oscillatore locale che quella dei circuiti che lo precedono, in modo tale che la differenza tra le due frequenze sia e rimanga costante per tutta l'estensione della gamma. Tale differenza è — ripetiamo — il valore scelto come Media Frequenza.

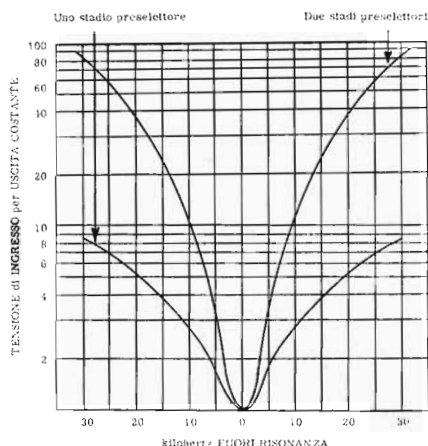



Fig. 1 - Grafico illustrante la selettività di un amplificatore ad A.F. ad uno e a due stadi. Si può osservare che con due stadi, il risultato è notevolmente superiore.

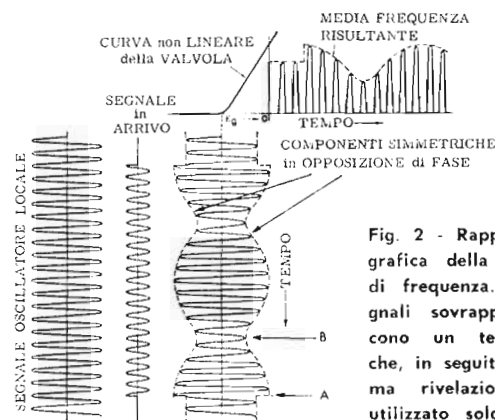



Fig. 2 - Rappresentazione grafica della conversione di frequenza. I due segnali sovrapposti producono un terzo segnale che, in seguito alla « prima rivelazione », viene utilizzato solo per metà.

PARTICOLARITA' CARATTERISTICHE

La sensibilità e la selettività di un ricevitore supereterodina sull'intera gamma sono più uniformi che non in un ricevitore a stadi accordati: ciò è vero in quanto la maggior parte dell'amplificazione ha luogo mediante stadi sintonizzati su una frequenza fissa.

Gli stadi funzionanti su una sola frequenza (che — peraltro — è relativamente bassa, e tutt'altro che critica), consentono una forte amplificazione, unitamente ad un'alta selettività.

La selettività degli stadi di amplificazione a M.F. determina la selettività totale del ricevitore relativa alle emittenti con frequenze tra loro adiacenti. Può tuttavia sussistere la necessità di aggiungere uno stadio di amplificazione a radiofrequenza, avente una selettività sufficiente a respingere la cosiddetta **frequenza d'immagine.**

Vediamo in che cosa consiste questa frequenza d'immagine. Essa si manifesta con la presenza in uscita di due segnali contemporaneamente; il fenomeno può essere causato dai seguenti motivi: se — ad esempio — si mescola una frequenza dell'oscillatore locale di 1255 kHz con una frequenza d'ingresso di 800 kHz per produrre una M.F. di 1255 — 800 = 455 kHz, (pari cioè alla differenza tra le due), la stessa frequenza dell'oscillatore può mescolarsi anche con una frequenza d'ingresso di 1710 kHz, eventualmente presente a causa della scarsa selettività del circuito d'ingresso. Infatti, anche in questo caso, la differenza tra le due frequenze ammonta a 1710 — 1255 = 455 kHz. Per questo motivo, se l'antenna riceve due stazioni contemporaneamente, una delle quali trasmette su 800 e l'altra su 1710 kHz, la sezione mescolatrice può inviare all'amplificatore a M.F. due segnali contemporanei provenienti dalle due diverse stazioni, e convertirli entrambi nella medesima M.F. Gli stadi successivi ricevono di conseguenza entrambi i segnali, col risultato che gli stessi vengono rivelati contemporaneamente, e, giungendo assieme al dispositivo di riproduzione sonora, dànno luogo ovviamente ad un ascolto non intellegibile.

Il segnale che può, per la causa di cui sopra, interferire con quello effettivamente prescelto, viene denominato appunto frequenza o interferenza d'immagine. L'inconveniente può essere evitato mediante una accurata messa a punto dello stadio amplificatore a radiofrequenza. Gli stadi di questo tipo, ad alta selettività, quando vengono sintonizzati su di una frequenza inferiore a quella dell'oscillatore locale di un ammontare pari al valore della M.F., respingono una eventuale frequenza, superiore a quella dell'oscillatore della medesima quantità. In altre parole l'amplificatore a radiofrequenza di un ricevitore supereterodina avente una Media Frequenza di 455 kHz, respinge — ad esempio — la frequenza d'immagine di 1710 kHz se è sintonizzato sulla frequenza di 800 kHz, e viceversa.

Per quanto riguarda i normali ricevitori a radiodiffusione, l'inconveniente sopra accennato si verificava molto più facilmente anni orsono, quando cioè si era soliti adottare nelle costruzioni un valore di frequenza, per la M.F., dell'ordine di 200 o 175 kHz. In tal caso la differenza tra la frequenza effettiva di accordo e quella dell'eventuale segnale interferente, era di soli 400 kHz circa. Se la selettività del circuito d'ingresso (circuito d'aereo) era scarsa, poteva verificarsi la ricezione contemporanea di due emittenti. L'aggiunta di uno stadio di amplificazione in Alta Frequenza, e del relativo circuito sintonizzato, provvedeva in casi del genere ad una seconda selezione che eliminava il segnale interferente.

Con i valori di Media Frequenza attualmente in uso, ossia maggiori di 450 kHz, il fenomeno può considerarsi praticamente scomparso, in quanto difficilmente un circuito di sintonia può essere così poco selettivo da consentire il passaggio di due frequenze che differiscono tra loro di 900 kHz. L'adozione di un valore più alto di M.F. consente così l'eliminazione dello stadio preselettore.

Il moderno ricevitore supereterodina, specie se privo di stadi amplificatori in A.F., necessita di un condensatore variabile (e di induttanze) avente un numero di sezioni inferiori a quello necessario in un ricevitore adottante il vecchio sistema: è questo un altro piccolo vantaggio della « super » moderna.

STADI PRESELETTORI

Il tecnico deve essere edotto anche su particolari relativi a funzioni e schemi di uso non troppo corrente: dobbiamo perciò fare cenno agli stadi di amplificazione

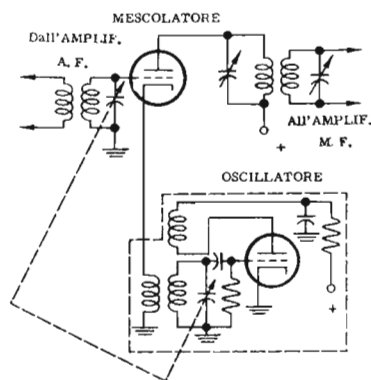



Fig. 3 A - Accoppiamento induttivo tra oscillatore e mescolatore.

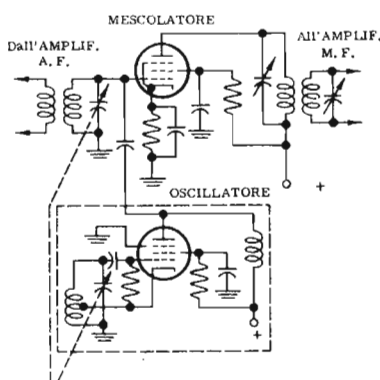



Fig. 3B - In questo caso l'accoppiamento è capacitivo.

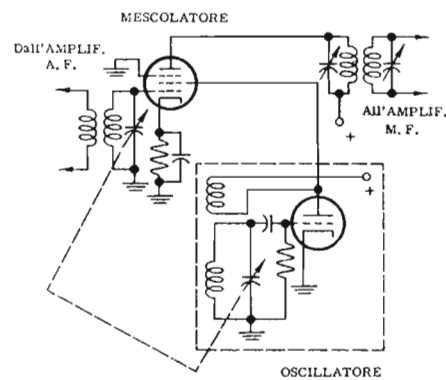



Fig. 3 C - Accoppiamento diretto. La placca oscillatrice è unita ad una griglia del pentodo.

che precedono la conversione, anche se i comuni ricevitori attuali più non li adottano. Vedremo, tuttavia, quando ci occuperemo di apparecchi professionali (specialmente per le gamme di onde corte) che gli stadi amplificatori posti innanzi alla sezione convertitrice sono, in tale settore, sempre di corrente impiego.

La sezione amplificatrice a radiofrequenza in un ricevitore supereterodina viene dunque denominata stadio preselettore. Sostanzialmente — ripetiamo — essa è analoga a quella di un ricevitore a stadi accordati. La selettività per i ricevitori di radiodiffusione ha, oggigiorno, un'importanza maggiore che non il fattore di amplificazione; abbiamo infatti, visto che è proprio la selettività che può eliminare l'interferenza di immagine.

Per la sezione di preselezione possono esservi uno, due, o anche tre stadi di amplificazione a radiofrequenza. La **figura 1** dimostra la selettività che si può raggiungere con un'amplificatore di preselezione semplice e con uno doppio. In detta figura, l'asse verticale permette di individuare la tensione relativa d'ingresso necessaria per ottenere un'uscita costante. L'asse orizzontale riporta i valori di frequenza in kHz al di fuori della frequenza di risonanza. Si noti che, con uno solo stadio di amplificazione, un segnale la cui frequenza differisca di 30 kHz da quella di risonanza, deve avere una tensione pari a circa 9 volte quella del segnale a frequenza di risonanza per dare la medesima potenza d'uscita. Con due stadi invece, la tensione deve essere di circa 80 volte superiore. Ciò conferma che ogni stadio in più migliora la selettività.

LA CONVERSIONE di FREQUENZA

Il processo caratteristico che ha luogo in un ricevitore supereterodina si chiama **conversione di frequenza.** Lo stadio in cui detta conversione viene effettuata viene denominato — ripetiamo — mescolatore o convertitore, a seconda delle caratteristiche peculiari del circuito. Quando, con una sola valvola a diversi elettrodi, si effettua sia la generazione delle oscillazioni sia la mescolazione di frequenza, lo stadio si chiama *convertitore*. Se per i due scopi citati vengono usate due valvole separate, quella che produce le oscillazioni locali costituisce lo stadio *oscillatore*, e quella che sovrappone al segnale locale il segnale in arrivo, costituisce invece lo stadio *mescolatore*.

Abbiamo visto che lo stadio convertitore o mescolatore a volte viene definito anche **primo rivelatore**. Il motivo risiede nel fatto che tanto il convertitore quanto il mescolatore devono essere — così come un rivelatore — del tipo **non lineare**. In altre parole, la valvola deve presentare una conduttività, durante la parte positiva dei cicli delle frequenze applicate, maggiore che non durante la parte negativa, altrimenti la Media Frequenza non potrebbe manifestarsi all'uscita.

Ecco, in breve, ciò che si svolge. Il fatto che due segnali di diversa frequenza influiscono contemporaneamente sulla corrente anodica, determina anzitutto un **battimento**. Questo fenomeno è chiaramente comprensibile, se si considera che — in ogni istante — i semiperiodi dei due segnali si sommano o si sottraggono in ampiezza a seconda che siano in fase o sfasati. Se sono perfettamente in fase, l'ampiezza del segnale risultante è data, ovviamente, dalla somma delle sue ampiezze: se — viceversa — sono sfasati di 180°, è ovvio che l'ampiezza risultante è data invece dalla differenza tra le ampiezze.

Inoltre, essendo i due segnali di frequenza diversa, ma essendo ciascuna frequenza di valore costante, gli istanti in cui i segnali sono in fase si susseguono ad un ritmo anche esso costante, analogamente agli istanti in cui sono in opposizione di fase.

Se rappresentiamo questo fenomeno graficamente, come illustrato alla **figura 2**, notiamo che nel punto *A* il segnale risultante ha la massima ampiezza (segnali in fase), mentre nel punto *B* l'ampiezza è minima. Tra i due punti citati, esistono infiniti punti intermedi nei quali il segnale risultante è sempre dato dalla somma o dalla differenza tra le due ampiezze, a seconda che — nel tempo — i due segnali tendano rispettivamente a sommarsi o a sottrarsi.

La definizione di rivelatore si spiega osservando attentamente la figura, nella quale si nota che il segnale risultante appare due volte con andamento simmetrico, ai lati della linea isoelettrica. Essendo i segnali in opposizione di fase tra loro, è necessario utilizzarne uno solo, eliminando l'altro. A ciò provvede appunto il funzionamento non lineare della valvola, la quale, con un'azione analoga a quella della rivelazione, rende disponibile in uscita un solo lato del segnale complesso illustrato alla figura 2.

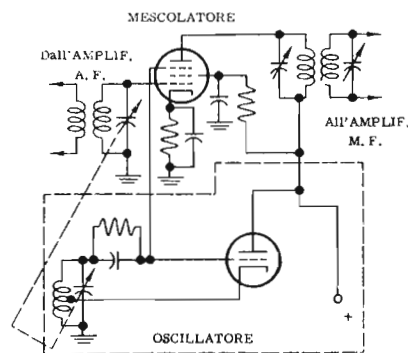



Fig. 3 D - **Accoppiamento diretto mediante unione tra due griglie.**

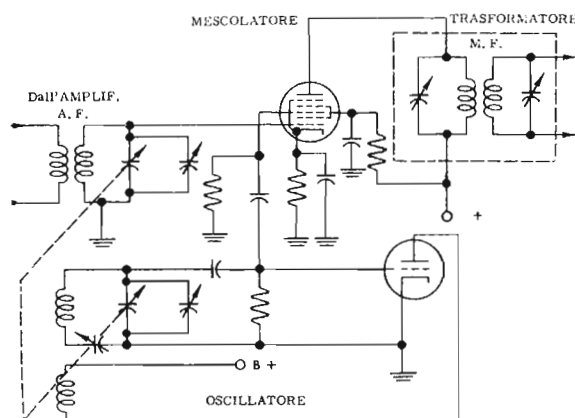



Fig. 4 - **L'eptodo (valvola con cinque griglie), può funzionare da stadio mescolatore. Un triodo separato produce le oscillazioni, che vengono sovrapposte a quelle in arrivo grazie all'accoppiamento con la terza griglia dello eptodo mescolatore.**

L'OSCILLATORE LOCALE

L'oscillatore locale deve rispondere nel modo migliore alle esigenze dovute all'ampiezza della gamma interessata, alla stabilità della frequenza generata, alla costanza della sua tensione d'uscita, ed alla costanza dell'allineamento.

Può essere realizzato con qualsiasi circuito fondamentale per la produzione di oscillazioni tra quelli che abbiamo visto alla lezione 67ª. Normalmente, viene usato un circuito « Hartley » modificato, o comunque uno dei tipi a circuito di griglia sintonizzato. Allo scopo di mantenere costante la frequenza prodotta, in casi particolari si usa anche un dispositivo circuitale atto a stabilizzare la tensione di placca.

Un fattore che può influire molto sulla stabilità è l'effetto che le altre radiofrequenze presenti nel circuito possono avere sull'oscillatore locale. Quest'ultimo tende infatti a sincronizzare la sua frequenza con quella dei segnali in arrivo. Maggiore è l'intensità di detti segnali — e minore è la differenza tra la loro frequenza e quella dell'oscillatore — maggiore è la probabilità della reciproca influenza. Se la frequenza dell'oscillatore subisce una variazione a causa dei segnali in arrivo, si produce uno *slittamento di frequenza*. Tale inconveniente può essere eliminato isolando, ossia separando il più possibile, il circuito dell'oscillatore da quello di amplificazione a radiofrequenza. Detto isolamento non consiste soltanto in una accurata schermatura dei vari componenti, ma anche nell'uso di sistemi adeguati per accoppiare i segnali dell'oscillatore allo stadio convertitore. La tensione dell'oscillatore può essere introdotta in questo stadio sia mediante accoppiamento induttivo, sia mediante accoppiamento elettronico. Può essere inserita sul catodo, sulla griglia pilota, sulla griglia schermo, o anche sulla griglia di soppressione.

Assai spesso nello stadio convertitore si usa una valvola con 5 griglie, ossia un eptodo. Queste valvole speciali sono state create appunto per ottenere una indipendenza efficace tra i segnali dell'oscillatore locale ed i segnali in arrivo dalle emittenti, senza peraltro dover ricorrere a due valvole distinte.

Come vedremo meglio tra breve, per la produzione delle oscillazioni vengono usate le prime due griglie a partire dal catodo (G_1 e G_2), che con quest'ultimo formano un triodo, in quanto a G_2 è affidata la funzione di una placca.

I segnali in arrivo vengono invece applicati alla 3ª o alla 4ª griglia. Dal momento che la corrente anodica scorre dal catodo alla placca, nessun segnale può, dalla 3ª o dalla 4ª griglia, esercitare un'influenza a ritroso sulle griglie 1ª e 2ª. Per questo motivo l'impiego delle multigriglia evita gli slittamenti di frequenza.

LO STADIO MESCOLATORE

Consideriamo i vari tipi di mescolatori ed i vari sistemi di iniezione del segnale illustrati alla **figura 3.** Si noti tra l'altro che, a tale scopo, è possibile usare sia pentodi che triodi.

Nella sezione **A,** l'uscita di un oscillatore con circuito di griglia sintonizzato è accoppiata induttivamente al circuito catodico del mescolatore.

Nella sezione **B** si ha un circuito oscillatore « Hartley» modificato, con accoppiamento elettronico, accoppiato a sua volta mediante una capacità alla griglia pilota del mescolatore. L'oscillatore è realizzato con un pentodo invece che con un triodo, in quanto il pentodo ha una maggiore stabilità.

Nella sezione **C** è illustrato un oscillatore con circuito di griglia sintonizzato, accoppiato direttamente alla griglia schermo del mescolatore.

Nella sezione **D** — infine — l'uscita dell'oscillatore viene prelevata dalla sua stessa griglia pilota, che è collegata direttamente con la griglia di soppressione del mescolatore.

Uno dei vantaggi dell'accoppiamento tra i due stadi attraverso la griglia di soppressione consiste nel fatto che la griglia schermo agisce anche da schermo separatore tra il segnale dell'oscillatore e quello in arrivo (applicato alla griglia pilota del mescolatore). Ciò migliora la stabilità evitando lo slittamento o trascinamento di frequenza di cui si è detto. Tuttavia, con questo sistema, la griglia di soppressione del mescolatore ha il medesimo potenziale della griglia pilota dell'oscillatore. Essendo tale potenziale negativo rispetto al catodo, il coefficiente di amplificazione della valvola mescolatrice diminuisce.

L'eptodo come mescolatore

Per la realizzazione di uno stadio mescolatore è pos-

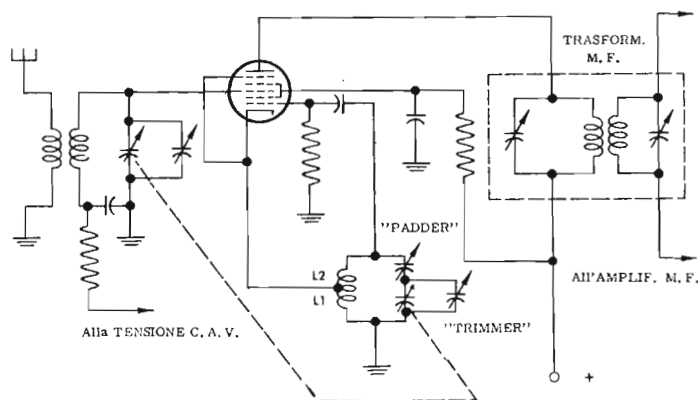



Fig. 5 - Impiego dell'eptodo come convertitore. In tal caso, l'oscillatore è incorporato, ed è costituito dalle prime due griglie.

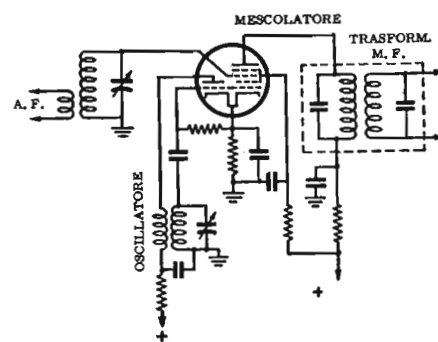



Fig. 6 - Conversione di frequenza mediante un triodo esodo. L'accoppiamento è diretto, in quanto le due unità hanno una griglia in comune.

sibile utilizzare la valvola multigriglia denominata eptodo o pentagriglia, (già nota al lettore), come nello schema illustrato alla **figura** 4.

Consideriamo le cinque griglie dal basso verso l'alto. E' facile osservare che la prima e la terza agiscono rispettivamente da prima e seconda griglia pilota; la prima nei confronti del segnale in arrivo dall'antenna, e la terza nei confronti del segnale prodotto dall'oscillatore locale.

La seconda e la quarta griglia, collegate tra loro internamente alla valvola, fungono da schermo rispettivamente interno ed esterno. La quinta griglia infine, collegata al catodo internamente alla valvola, agisce da griglia di soppressione.

La tensione dell'oscillatore è applicata — ripetiamo — alla seconda griglia pilota, la quale è isolata dalla prima e dalla placca, dalle griglie schermo. Di conseguenza, lo slittamento di frequenza viene contenuto entro il minimo possibile.

La tensione del segnale a radiofrequenza viene invece applicata alla prima griglia pilota. Entrambe le griglie pilota influiscono sulla corrente elettronica che scorre tra il catodo e la placca così che ambedue i segnali vengono riprodotti all'uscita del mescolatore.

L'eptodo come convertitore

Per il funzionamento con frequenze relativamente basse, con le quali la reciproca influenza tra gli elettrodi ha una importanza minore, l'eptodo può essere usato come convertitore. In tal caso. esso unisce le funzioni del mescolatore e dell'oscillatore in una sola valvola, come illustrato alla **figura 5**. La sezione oscillatrice della valvola consiste nel catodo, nella prima griglia di controllo, e nella doppia griglia schermo (griglie 2ª e 4ª), che — come abbiamo detto poc'anzi — agiscono contemporaneamente da placca nei confronti dell'oscillatore. La reazione necessaria per provocare e mantenere le oscillazioni si produce grazie all'azione dell'autotrasformatore costituito da L_1 ed L_2 aventi una estremità in comune. La corrente che scorre verso il catodo attraverso L_1 induce la tensione di reazione in L_2. La tensione di oscillazione presente sulla prima griglia pilota influisce sul passaggio di corrente attraverso la valvola. Il segnale a radiofrequenza è invece applicato alla seconda griglia pilota (griglia 3ª).

In un circuito di questo tipo è possibile impiegare anche un ottodo. In tal caso la stabilità è ancora maggiore in quanto, disponendo di una griglia in più, la seconda griglia, che forma un triodo con la prima ed il catodo, è indipendente dalle due griglie che agiscono da schermo. Tra lo stadio oscillatore ed il mescolatore si ha così un disaccoppiamento ancora più efficace.

Conversione con triodo-esodo

Un circuito di conversione analogo a quello dell'ottodo è dato dall'impiego del triodo esodo, come è illustrato alla **figura 6.** In tal caso, come sappiamo, si hanno due valvole indipendenti racchiuse però nel medesimo bulbo. Il triodo compie la funzione di stadio oscillatore, e l'esodo quella di stadio mescolatore.

L'accoppiamento tra le due valvole consiste nell'unione della griglia del triodo con la terza griglia dell'esodo. Questo collegamento può essere — a seconda del tipo — sia interno che esterno alla valvola.

Guadagno di conversione

L'efficienza di uno stadio di conversione viene calcolata in funzione del rapporto tra l'uscita a Media Frequenza nel circuito di placca del mescolatore e la tensione del segnale di ingresso a radiofrequenza presente sulla griglia dello stesso stadio. Il guadagno di conversione corrisponde generalmente a 0,3 volte il guadagno normale della medesima valvola usata come amplificatrice a Media o Alta Frequenza.

ALLINEAMENTO tra OSCILLATORE e MESCOLATORE

E' opportuno notare che, in tutti i circuiti per la conversione di frequenza precendentemente illustrati, la capacità variabile del circuito di sintonia dell'oscillatore segue di pari passo quello del circuito sintonizzato di antenna. Sappiamo bene, ora, che la differenza tra le due frequenze è la Media Frequenza.

Oltre a tali capacità, il circuito di un convertitore comprende altre capacità variabili, dette « padder » e « trimmer », che possono essere regolate separatamente allo scopo di far sì che la differenza tra le due frequenze di risonanza rimanga costante sull'intera gamma esplorata, per tutta la rotazione del doppio condensatore variabile.

COMPONENTE	CAPACITA'	RAPPORTO CAPACITA'	RAPPORTO FREQUENZA
C1	40-360 pF	1 : 9	1 : 3
C2	40-360 pF	1 : 9	
C3	500 pF (variabile)		
C2 e C3	valore eff. 37-210 pF	circa 1 : 5,6	circa 1 : 2,36

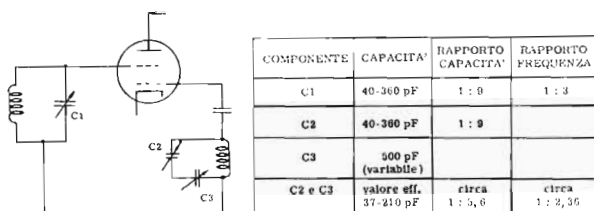



Fig. 7 - Impiego del « padder » per adattare opportunamente la gamma di frequenze dell'oscillatore. Essendo in serie al condensatore variabile, ne diminuisce la capacità portando gli estremi della variazione al valore necessario. La tabella a lato mette in evidenza la variazione del rapporto di frequenza e capacità massima e minima.

COMPONENTE	CAPACITA'	RAPPORTO CAPACITA'	RAPPORTO FREQUENZA
C1	40-360 pF	1 : 9	1 : 3
C2	40-360 pF	1 : 9	
C3	30 pF		
C2 e C3	valore eff. 70-390 pF	circa 1 : 5,6	circa 1 : 2,30

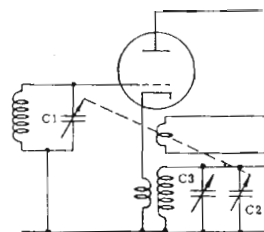



Fig. 8 - Impiego del « trimmer » per la regolazione della variazione di capacità mediante l'aggiunta di un valore in parallelo. Come si nota nella tabella a lato, sebbene C_3 abbia un valore ridotto, la sua presenza consente una notevole diversità dei rapporti sia di capacità che di frequenza.

Il « trimmer » non è altro che un compensatore collegato in parallelo, che esercita la sua maggiore influenza verso il lato più alto della gamma, ossia nel campo delle frequenze più elevate.

Il « padder » è anch'esso un compensatore, collegato però in serie, ed esercita la sua massima influenza alla estremità delle frequenze più basse. Si tratta di due organi il cui nome e la cui funzione sono stati da noi già illustrati a pagina 256.

E' facile notare l'importanza del « padder » osservando la **figura 7** e la tabellina ad essa riferita.: C_1 e C_2 sono i condensatori variabili in « tandem ». Ciascuno di essi ha la medesima portata capacitiva (da 40 a 360 pF); tuttavia, essi permettono la sintonia contemporanea, ognuno su frequenza diversa. Il circuito oscillatore oscilla su frequenze più alte di quelle del circuito di sintonia, con una differenza costante pari alla Media Frequenza. Per questo motivo, se la gamma del ricevitore si estende da 1000 a 3000 kHz. e la Media Frequenza è di 465 kHz, la gamma dell'oscillatore deve essere compresa tra 1465 e 3465 kHz. Il rapporto di sintonia del circuito a radiofrequenza dall'estremo basso all'estremo alto, è di 1:3, mentre il rapporto del circuito dell'oscillatore è di 1:2,36. Il rapporto di capacità di entrambi i condensatori variabili è invece il medesimo, ossia 1:9.

Dal momento che la frequenza è inversamente proporzionale alla radice quadrata della capacità, ossia:

$$F = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

esiste la giusta correlazione tra il rapporto di sintonia 1:3 ed il rapporto di capacità 1:9 per il condensatore C_1. Per il condensatore C_2, il rapporto di sintonia 1:2,36 non si adatta al rapporto di capacità 1:9. Di conseguenza viene inserito C_3 in qualità di « padder ». L'aggiunta di tale capacità semifissa, del valore massimo di 500 pF, fa in modo che la variazione di C_2 sia compresa tra 37 e 210 pF (vedi in proposito la formula per il calcolo della capacità risultante da due condensatori in serie). Ciò ha per conseguenza un rapporto di capacità di 1:5,6. La combinazione permette un buon adattamento per il rapporto di sintonia dell'oscillatore di 1:2,36.

E' opportuno rilevare che l'influenza del « padder » sulla estremità della gamma corrispondente alle frequenze più elevate (lato della capacità minore) è minima. Esso infatti può appena cambiare la capacità da 40 a 37 pF. In corrispondenza delle frequenze più basse — invece — (lato della capacità più alta), l'influenza sulla capacità è notevole in quanto essa viene portata da 360 a 210 pF.

Esaminiamo ora un circuito come quello della **figura 8** che illustra l'impiego di un « trimmer »: C_1 e C_2 sono i medesimi condensatori usati nel circuito precedente. C_3 è il compensatore (« trimmer ») collegato in parallelo a C_2. Il suo valore è di 30 pF. La combinazione in parallelo tra C_2 e C_3 provoca una variazione di capacità compresa tra 70 e 390 pF. Ne deriva che il rapporto di capacità è pari a 1:5,6 il che si adatta al rapporto di frequenza del circuito oscillatore, che è di 1:2,3.

Diversamente da quanto abbiamo constatato in merito al « padder », l'influenza del « trimmer » è minima alle frequenze basse (capacità massima) e massima alle frequenze alte (capacità minima). Infatti, il suo effetto è tale che la capacità minima (residua) del condensatore variabile viene portata da 40 a 70 pF, mentre quella massima viene portata da 360 a 390 pF, con uno scarto, come si vede, molto più apprezzabile sulla capacità minima (che viene quasi raddoppiata) che non sulla massima.

Esaminando infine la **figura 9**, è facile comprendere come sia il « padder » che il « trimmer » possano essere usati assieme. L'aggiunta di C_3, ossia di un « trimmer » da 30 pF, e di C_4, « padder » da 500 pF, crea una combinazione che permette una portata capacitiva variabile da 40 a 210 pF. Si ottiene così il rapporto di capacità di 1:5,2 circa, che si adatta al rapporto di frequenza di 1:2,3 per il circuito sintonizzato dall'oscillatore. Entrambi — ripetiamo — sono condensatori aggiuntivi semifissi, (compensatori) che possono essere regolati separatamente per raggiungere un allineamento perfetto su tutti e due i lati estremi della gamma.

L'AMPLIFICATORE a MEDIA FREQUENZA

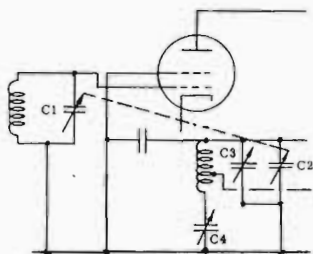
L'amplificatore a Media Frequenza è un circuito ad alta amplificazione costantemente sintonizzato su una frequenza pari alla differenza tra la frequenza dello oscillatore locale e quella del segnale in arrivo. Uno stadio di M.F. comprende una valvola amplificatrice,

COMPONENTE	CAPACITA'	RAPPORTO CAPACITA'	RAPPORTO FREQUENZA
C1	40-360 pF	1 : 9	1 : 3
C2	40-360 pF	1 : 9	
C3	3 pF (variabile)		
C4	500 pF (variabile)		
C2, C3, C4	valore eff. 40-210 pF	circa 1 : 5,2	circa 1 : 2,3

Fig. 9 - Impiego contemporaneo del « trimmer » e del « padder ». Combinando le due funzioni rispettive, è possibile adattare perfettamente i rapporti di capacità delle due sezioni del condensatore variabile, (e quindi rapporti di frequenza) affinchè l'indice della scala parlante del ricevitore indichi esattamente le frequenze riportate sulla scala stessa.

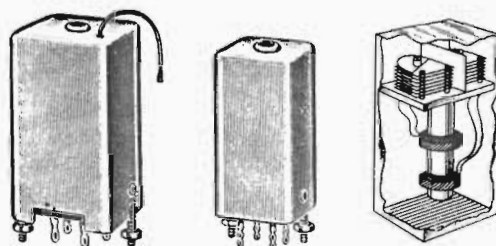



Fig. 10 - Tipi di trasformatori di Media Frequenza, racchiusi nell'apposito involucro. Uno di essi è illustrato in sezione, per mostrare la posizione delle bobine e dei compensatori installati all'interno.

un suo circuito d'ingresso ed un suo circuito d'uscita. La valvola amplificatrice è normalmente un pentodo; nei ricevitori normali è presente — di solito — un solo stadio di questo tipo. Nei ricevitori professionali — per contro — si trovano a volte due o tre stadi di amplificazione di Media Frequenza e non è raro che si ricorra a due valori diversi di M.F., da cui la presenza di una doppia conversione.

Ogni stadio viene « tarato » sulla frequenza fissa prescelta. Poichè tutti i segnali in arrivo vengono convertiti in tale frequenza, l'amplificatore al quale ci riferiamo funziona sulla sola frequenza intermedia. Di conseguenza, i vari circuiti sintonizzati possono essere regolati permanentemente, una volta per sempre, in modo da consentire la massima amplificazione e la maggiore selettività. Praticamente, in un ricevitore supereterodina, la prerogativa della selettività, ossia la separazione della emittente ricevuta dalle altre di frequenza prossima, ed il compito della maggior parte dell'amplificazione di tensione, sono affidate in effetti allo stadio di amplificazione a Media Frequenza. L'interferenza di immagine, precedentemente citata, viene, come abbiamo visto, spostata in un punto tanto più lontano dall'apice della curva di risonanza del relativo circuito accordato, quanto più elevato è il valore della Media Frequenza.

Per questo motivo, la scelta del valore della frequenza intermedia costituisce un compromesso tra il fatto che una frequenza elevata rappresenta un rimedio più efficace contro l'interferenza di immagine, mentre una frequenza più bassa consente una maggiore selettività nei confronti delle emittenti di frequenza prossima a quella su cui viene effettuato l'accordo.

I ricevitori attuali di produzione commerciale sono basati su una Media Frequenza il cui valore è compreso tra i 450 e 470 kHz.

Generalmente, i trasformatori di M.F. sono a doppia sintonia, e cioè sia il primario che il secondario sono sintonizzati sulla frequenza di funzionamento. Esistono tuttavia dei casi in cui, per ragioni speciali, i trasformatori sono a sintonia unica: solo il secondario costituisce un circuito accordato.

I trasformatori di Media Frequenza possono essere avvolti su supporti a nucleo di aria, o di ferro polverizzato compresso. Alcuni esemplari di questo secondo tipo sono muniti di condensatori fissi a mica, e vengono sintonizzati variando l'introduzione del nucleo nello avvolgimento. Detto nucleo, essendo filettato esternamente, può essere spostato come una comune vite: questo tipo di sintonia si chiama, come abbiamo già visto, a « variazione di permeabilità ».

La **figura 10** illustra alcuni tipi di trasformatori di M.F. Come si nota, essi sono montati, unitamente alle capacità di accordo, in piccoli involucri metallici — generalmente di alluminio — che agiscono da schermo. Nei casi in cui vengono usate induttanze fisse e capacità variabili, queste ultime sono di basso valore in confronto a quelle usate per i circuiti di sintonia dello stadio convertitore/mescolatore, e possono essere regolate mediante viti accessibili attraverso fori praticati nello schermo metallico. Attraverso tali fori è possibile introdurre la punta di un cacciavite speciale o di una chiave sagomata a seconda del tipo di compensatore usato. In tal modo è possibile effettuare la taratura senza asportare lo schermo.

La **figura 11** illustra lo schema di un amlificatore a Media Frequenza a due stadi, realizzato con due pentodi. T_1 è il trasformatore d'ingresso, che ha il circuito primario, formato da L_1 e da C_1, in serie al circuito di placca dello stadio convertitore, da dove proviene il segnale a frequenza intermedia sul quale il trasformatore è sintonizzato. Il circuito secondario, formato da L_2 e da C_2, è sintonizzato sulla medesima frequenza, e serve come circuito d'ingresso della valvola amplificatrice. La resistenza R_1, collegata in serie al catodo, fornisce la tensione di polarizzazione necessaria, mentre C_3 cortocircuita le eventuali tensioni a radiofrequenza presenti ai capi di tale resistenza. La resistenza R_2 invece, ed il condensatore C_4, sono rispettivamente la resistenza per l'alimentazione della tensione di schermo ed il relativo condensatore di filtro. R_3 e C_5 costituiscono il filtro di disaccoppiamento il cui compito è di evitare che le correnti dei segnali tornino indietro nel circuito causando interferenze tra gli stadi. C_5 infatti offre un passaggio a bassa resistenza verso il catodo o verso massa alle correnti alternate, mentre R_5 evita che dette correnti si dirigano verso la sorgente di alimentazione anodica. Tali tipi di disaccoppiamento vengono comunemente usati nei circuiti di griglia schermo e di placca.

L_3 e C_6 costituiscono il circuito primario sintonizzato del secondo trasformatore di M.F., T_2. Il circuito ac-

Fig. 11 - Circuito tipico di un amplificatore a Media Frequenza. L_1 - L_2 - L_3 - L_4, con le rispettive capacità in parallelo, costituiscono i circuiti risonanti necessari per l'accoppiamento.

Fig. 12 - Circuito tipico di un dispositivo C.A.V. ritardato. Il diodo relativo ha un potenziale negativo rispetto al catodo, e funziona solo per segnali di ampiezza superiore a tale tensione.

cordato secondario, formato da L_4 e da C_7, sintonizzato sempre sulla medesima frequenza, è accoppiato induttivamente al primario ed agisce da circuito d'ingresso dello stadio successivo, che può essere un ulteriore stadio a M.F. (come indicato) oppure il rivelatore.

Dal momento che all'amplificatore a M.F. è affidato il compito di provvedere alla maggior parte dell'amplificazione in un ricevitore supereterodina, il numero degli stadi che lo compongono è in relazione alla sensibilità richiesta al ricevitore. Come si è detto poc'anzi il valore della frequenza scelto dipende da diversi fattori, uno dei quali è la selettività. Maggiore è la frequenza intermedia, peggiore, o comunque meno selettiva è la sintonizzazione del ricevitore.

Generalmente, gli stadi di amplificazione a M.F. sono realizzati mediante valvole a coefficiente di amplificazione variabile onde permettere il funzionamento del *C.A.V.*, di cui ci siamo occupati alla lezione 65ª. Detto dispositivo — come è noto — viene incluso inviando la tensione relativa, proveniente dal rivelatore ed opportunamente livellata, alla griglia pilota, attraverso il secondario del trasformatore d'ingresso, ossia attraverso L_2 o L_4 (vedi figura 11).

C.A.V. RITARDATO e TARATURA

A complemento di quanto si è detto in merito ai vari tipi di circuiti *C.A.V.* è opportuno rilevare che le valvole a « μ » variabile funzionano generalmente con una tensione di polarizzazione di griglia di circa 3 volt; in serie a tale tensione viene applicata quella proveniente dal circuito *C.A.V.*

Uno degli inconvenienti del dispositivo consiste nel fatto che qualsiasi segnale, per quanto debole, contribuisce a diminuire l'amplificazione, mentre il provvedimento dovrebbe servire a stabilire un certo equilibrio smorzando le emittenti più forti, e consentendo invece una maggiore potenza d'uscita sulle più deboli.

La **figura 12** rappresenta un circuito C.A.V. che elimina appunto tale inconveniente, e che viene denominato *C.A.V. ritardato*: si nota infatti, che il diodo relativo è separato da quello rivelatore, pur essendo entrambi inclusi nella medesima valvola che contiene anche il pentodo amplificatore a M.F., e che, a volte, contiene invece il primo triodo amplificatore in Bassa Frequenza.

La valvola da noi considerata è — in questo caso — un pentodo-doppio diodo. In essa, una parte dell'energia presente sul diodo rivelatore viene prelevata e trasferita al diodo *C.A.V.* mediante la capacità *C*. La placca di tale diodo ha un potenziale negativo costante dovuto alla resistenza di polarizzazione *R*. Tale potenziale neutralizza in parte la tensione *C.A.V.* in quanto essa si manifesta soltanto nei casi in cui la tensione del segnale è tale da superare il valore negativo della tensione di placca del diodo, la quale tende a diventare positiva durante le semionde del segnale. In tal modo il *C.A.V.* entra in azione e diminuisce l'amplificazione da parte degli stadi a *M.F.* solo se il segnale ricevuto ha una notevole ampiezza, mentre negli altri casi l'amplificazione rimane la massima possibile.

La tensione *C.A.V.* può essere applicata a tutte le valvole amplificatrici, o soltanto ad una parte di esse, a seconda dei casi.

Per concludere, in ogni ricevitore supereterodina si notano le seguenti sezioni:

1) Sezione di alimentazione (a c.a. o a c.c. o mista);
2) » amplificatrice ad A.F. (non indispensabile);
3) » convertitrice (costituita dall'oscillatore e dal mescolatore);
4) » amplificatrice a M.F. (ad uno o più stadi);
5) » rivelatrice (con *C.A.V.* semplice o ritardato);
6) » preamplificatrice a B.F. (ad uno o più stadi, ed a volte soppressa);
7) » amplificatrice finale (ad uno o due stadi).

ed i seguenti comandi:

1) Comando di accensione, spesso abbinato ad altri comandi);
2) » volume (immediatamente dopo lo stadio rivelatore);
3) » tono (per variare il timbro della riproduzione, non indispensabile);
4) » gamma (per la scelta della gamma di frequenza, se la gamma non è unica);
5) » sintonia (per la ricerca delle varie emittenti).

La tecnica relativa alla taratura dei ricevitori di questo tipo sarà oggetto di una apposita lezione.

COSTRUZIONE di un RICEVITORE SUPERETERODINA *per Onde Medie*

E' opportuno mettere in evidenza, anzitutto, alcune caratteristiche generali di questo ricevitore al fine di permettere al lettore una valutazione ponderata sulla opportunità ed utilità di intraprenderne o meno la costruzione.

Oggi l'apparecchio radio è largamente diffuso, tanto che è già molto frequente il caso del doppio apparecchio; per meglio dire, si verifica spesso che al normale ricevitore di casa si aggiunga un altro ricevitore, che è quasi sempre un portatile. Quest'ultimo deve, per forza di cose, assumere una sua fisionomia particolare cui sono legate tutte le caratteristiche di ordine tecnico, sia dal punto di vista circuitale che costruttivo. In questo campo è oramai incontrastato il predominio del ricevitore a transistori.

Vi sono però casi in cui il carattere di portatilità del ricevitore viene, per così dire, sacrificato. Non di rado, infatti, il piccolo portatile viene adibito ad una funzione stabile e continua in quanto, anche per più mesi, viene a svolgere il suo compito come unico apparecchio di casa (ad esempio in villeggiatura, ecc.). In queste contingenze è evidente che la soluzione non è la migliore: sia il costo d'esercizio (notevole e costoso il consumo delle pile), sia i risultati d'ascolto (qualitativamente inferiori a quelli di un normale apparecchio) depongono a favore di un ricevitore basato su un montaggio che potremmo dire classico, ma che nello stesso tempo offra particolarità di basso costo e, necessariamente, peso e dimensioni ridotte nei limiti consentiti dai migliori risultati che si vogliono raggiungere. A questi requisiti risponde pienamente il G-335 che, come vedremo, rappresenta la supereterodina più semplice come numero di componenti, come circuito e come montaggio, che il radioamatore possa realizzare, senza compromettere in alcun modo i risultati finali che rimangono quelli classici dei ricevitori medi del commercio, da anni accettati come soddisfacenti

Poichè il nostro letore ha, logicamente, un particolare interesse alla perfetta conoscenza dell'apparecchio che si accinge a costruire, ne analizzeremo in dettaglio lo schema così che si vedranno qui, coordinate nei riferimenti alla pratica applicazione, le nozioni sulla supereterodina apprese alla lezione teorica.

Lo SCHEMA ELETTRICO

Il numero degli stadi presenti è il minimo consentito per l'attuazione di un circuito supereterodina: si può, anzi, affermare che si ha uno stadio in più (nell'amplificazione a Bassa Frequenza), ma, poichè ciò non comporta l'aggiunta di una valvola, è ovvio che il beneficio di una valvola multipla venga pienamente sfruttato, tanto più che i risultati ottenibili sono assai più completi. Sia la valvola multipla citata (la UCL82, triodo-pentodo), sia le altre valvole multiple adottate, nonchè lo impiego di un raddrizzatore a secco, fanno sì che l'apparecchio comporti solo tre valvole nel senso generico del termine, pur corrispondendo perfettamente al classico 5 valvole in uso qualche anno fa. Il lettore intuirà da ciò che l'abitudine — purtroppo ancora invalsa nel grosso pubblico — di valutare l'importanza e l'efficacia di un ricevitore dal numero di valvole impiegate, è quanto mai errata e inconsistente.

Quasi sempre ad un ricevitore previsto per gli impieghi esaminati nella nostra premessa, è richiesta la sola funzione di ricezione delle emittenti italiane, di giorno, o comunque di emittenti potenti e stabili in modo da non subordinare l'ascolto a condizioni di propagazione o di impianto. Per questo motivo il progetto ha ritenuto sufficiente prevedere la sintonizzazione della sola gamma delle Onde Medie: da qui l'assenza dello apposito « gruppo » includente le molteplici induttanze, ed il relativo commutatore multiplo, che caratterizza gli apparecchi a più gamme d'onda. Dal punto di vista costruttivo questo fatto rappresenta una indubbia semplificazione. Avremo perciò un solo trasformatore d'Alta Frequenza cosiddetto « di entrata », in quanto posto all'entrata del segnale a radiofrequenza, vale a dire connesso all'antenna, ed una sola induttanza predisposta in modo da dar luogo, in unione ad una valvola elettronica, alle oscillazioni « locali ».

Il primario del trasformatore d'entrata o d'aereo induce sul secondario (DX sullo schema) l'energia a radiofrequenza captata dall'antenna, e poichè DX è accordato sulle frequenze di gamma da un condensatore variabile, si effettua quell'azione di preselezione di cui si è detto nella precedente lezione. Il segnale preselezionato viene applicato alla griglia controllo di una valvola, e precisamente al piedino 2 della UCH81.

Per il noto principio della supereterodina, la generazione dell'oscillazione locale deve differire in frequenza nei rispetti del circuito d'entrata di un valore pari a quello della Media Frequenza prescelta. Per questo motivo, l'avvolgimento accoppiato a QB sarà sempre sintonizzato su di una frequenza pari a quella di accordo di DX più quella di Media Frequenza che, nel nostro caso, è di 467 kHz. La variazione delle frequenze di risonanza è effettuata da un condensatore variabile per entrambi i circuiti, e poichè, logicamente, si deve adottare un unico comando, i due condensatori sono riuniti nella stessa struttura (condensatore variabile doppio) ad albero unico. Nel circuito accordato dell'oscillatore, tra il condensatore variabile (che ha la stessa capacità di quello connesso al circuito accordato d'entrata) e l'induttanza, è interposto un condensatore fisso del valore di 340 pF. In conseguenza, la capacità totale in parallelo alla bobina viene ad essere diminuita, da cui l'oscillazione su frequenza più alta, come richiesto. Il condensatore fisso citato è — il lettore l'avrà già notato — il classico « padder » nella sua caratteristica funzione di cui si è detto più volte. La sua azione, però, è tanto più pronunciata quanto più le lamine del variabile vengono inserite (noto effetto derivante dalla formula che dà il valore di due condensatori collegati in serie). A variabile aperto o quasi, l'azione del condensatore in serie non è più sufficiente per differenziare i due circuiti accordati, del valore della Media Frequenza: l'azione precedente viene effettuata allora dai «trimmer» (compensatori in parallelo) la cui variazione eseguita in sede di taratura una volta per sempre, porta ciascun circuito sulla frequenza dovuta. I « trimmer », per semplificazione di procedura, sono due e sono già montati sui rispettivi settori del condensatore variabile impiegato.

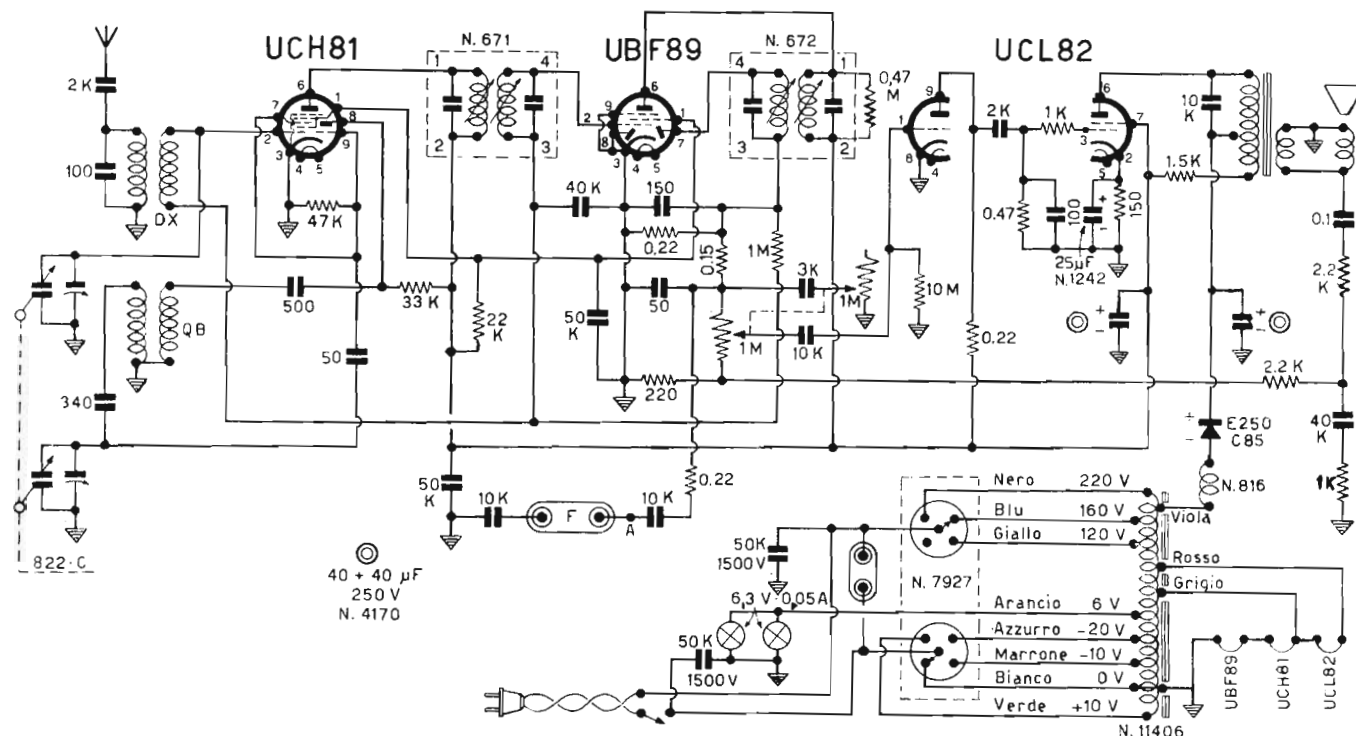
L'oscillazione locale è generata mediante un triodo contenuto nello stesso bulbo della valvola mescolatrice-convertitrice, la UCH81. Questo triodo ha la sua connessione di griglia al piedino N. 9 e quella di placca al piedino N. 8; il catodo (piedino N. 3) è in comune per le due sezioni della valvola. L'induttanza è realizzata in maniera da presentare un accoppiamento tale tra circuito di griglia e circuito di placca per cui si ha sempre l'immediata oscillazione: agli elettrodi, i componenti del circuito sintonizzato sono connessi mediante condensatori in modo da consentire il passaggio delle correnti a radiofrequenza ma evitare quello della corrente continua di alimentazione.

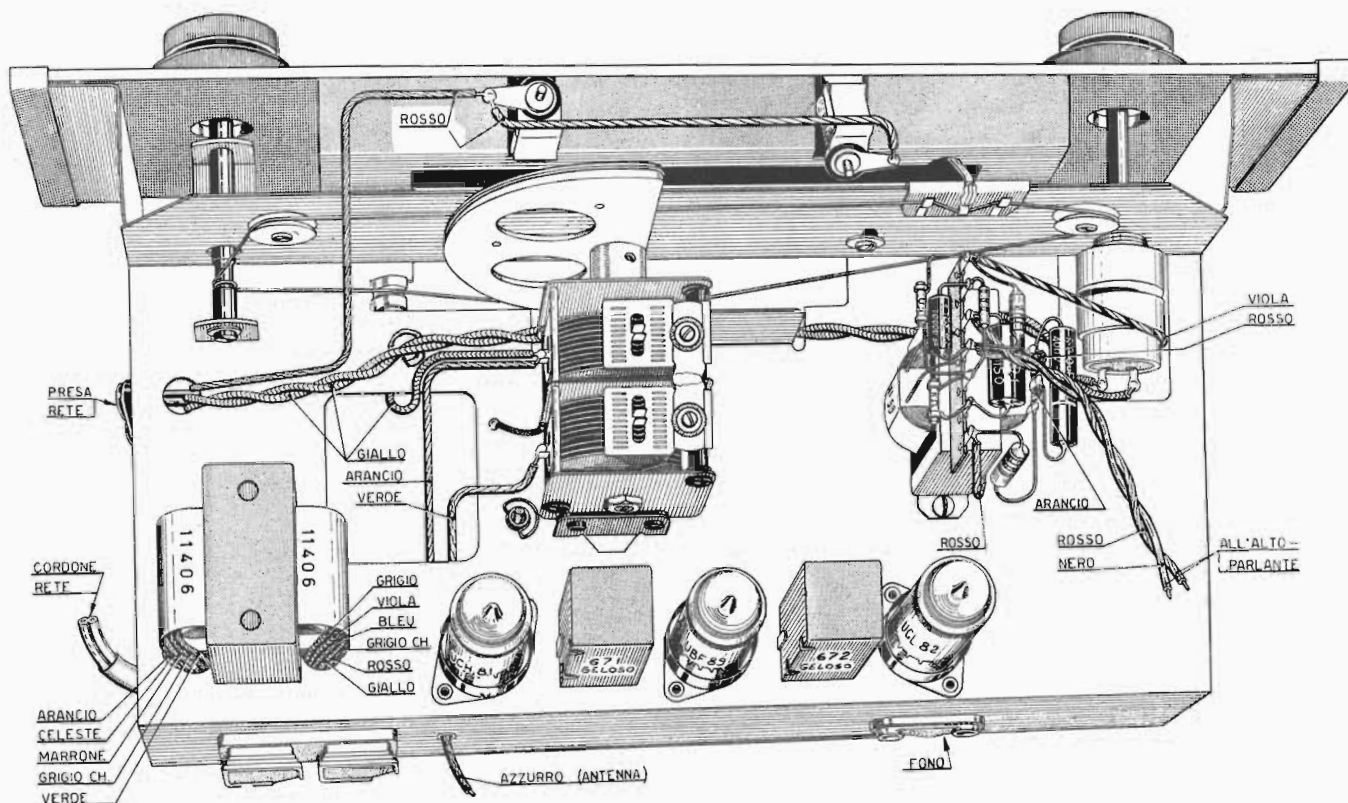
Alla sezione miscelatrice della valvola di conversione di frequenza abbiamo già visto come sia applicato il segnale del circuito d'ingresso (piedino 2): ad essa viene applicato anche il segnale locale, e ciò si effettua tramite il collegamento della griglia dell'oscillatore (piedino 9) con l'apposita griglia del piedino 7. Sul circuito di placca (piedino 6) avremo perciò (opportunamente inserendo un carico, rappresentato dal primario del trasformatore N. 671) la tensione a Media Frequenza.

I diversi elettrodi della UCH81 ricevono le appropriate tensioni continue di funzionamento previste dai dati caratteristici della valvola: così, alla placca della sezione convertitrice perviene una tensione di circa 160 volt, mentre tensioni inferiori sono applicate alla griglia schermo della stessa sezione ed alla placca del triodo oscillatore, inserendo una resistenza di caduta rispettivamente di 22.000 e successivamente 33.000 ohm.

Il segnale indotto sul secondario del trasformatore N. 671, oramai ad una frequenza fissa qualunque sia la posizione di accordo del circuito d'entrata (vale a dire qualunque sia la stazione captata), deve essere amplificato. A ciò provvede una valvola pentodo e precisamente la UBF 89, alla cui griglia controllo (piedino 2) è collegato appunto il lato « caldo » del secondario del primo trasformatore di Media Frequenza. Il segnale amplificato, presente tra l'1 ed il 2 del trasformatore N. 672, è introdotto nel secondario e portato alla placca di un diodo (piedino 7) contenuto nel bulbo stesso della UBF89. Diodo ed elemento pentodo hanno il catodo in comune. Al diodo è affidato il compito della rivelazione, pertanto il secondario del trasformatore N. 672 chiude il suo circuito (attacco N. 3) verso massa con una resistenza di carico di 0,22 MΩ, shuntata da un condensatore da 150 pF. Ai capi di tale resistenza (cioè, tra massa e l'attacco 3) si sviluppa la tensione di segnale rivelato, vale a dire la Bassa Frequenza della modulazione: contemporaneamente si ha disponibile — sempre tra gli stessi punti — una tensione rettificata (proporzionale all'intensità del segnale) che, verso massa, risulta negativa. Questa tensione, previa interposizione di una resistenza di disaccoppiamento e filtro da 1 MΩ, serve a polarizzare opportunamente sia la griglia della UCH81 che la griglia della UBF89: si ha il classico caso del CAV per cui la autoregolazione è funzione del segnale entrante; l'apparecchio praticamente perde assai poco in sensibilità nel riferimento ai segnali più deboli.

La griglia del triodo contenuto nella valvola multipla UCL82 (piedino 1) costituisce l'entrata del circuito amplificatore di B.F. a due stadi: connessa al cursore di un potenziometro può prelevare tutta o parte della tensione di segnale rivelato che a tale potenziometro è applicata tramite una resistenza di disaccoppiamento da 0,15 MΩ. Il potenziometro in questione agisce evidentemente da regolatore di volume. La griglia del triodo è polarizzata col sistema del potenziale di contatto, che sfrutta la tensione creata ai capi di una resistenza di elevato valore (10 Megaohm) per il passaggio di una debole corrente di griglia.

Nello stesso punto del circuito viene attuato il controllo di tono. Il principio di funzionamento è semplice: con un condensatore da 3.000 pF si avvia a massa (più o meno, a seconda della posizione del cursore dell'apposito potenziometro da 1 MΩ) il segnale rivelato; ma, poichè il condensatore citato ha una capacità di valore tale per cui solo le frequenze più alte della gamma possono facilmente essere trasferite suo tramite, la riproduzione sonora finale risulta attenuata solo nei riguar-

Schema elettrico del ricevitore e, sotto, elenco del materiale necessario. Pur impiegando tre sole valvole, il ricevitore corrisponde perfettamente, nei risultati, al classico apparecchio a 5 valvole di alcuni anni fa. Si noti che in Bassa Frequenza si hanno due stadi: un triodo amplificatore di tensione ed un pentodo finale. La valvola UCH81, data la sua struttura di valvola multipla, è particolarmente efficace nella sua duplice funzione di miscelatrice ed oscillatrice. L'accensione delle valvole segue questo ordine reciproco per quanto riguarda il collegamento dei piedini, a partire dalla UBF89, lato autotrasformatore (massa): 5 - 4; 5 - 4; 4 - 5.

1 Telaio forato e cadmiato completo di accessori N. 18379
1 Riflettore per scala parlante N. 21114
1 Cristallo per scala parlante N. 1611/364
1 Indice per scala parlante N. 21113
1 Puleggia completa di funicella N. 74853
1 Squadretta supporto variabile N. . . . . . . 20924 (dis.)
2 Gommini per supporto variabile N. 77171
1 Autotrasformatore di alimentazione N. 331/11406
1 Trasformatore d'uscita N. 12695
1 Trasformatore di Media Frequenza N. 671
1 Trasformatore di Media Frequenza N. 672
1 Condensatore variabile da 2 x 330 pF N. . . . . . 882 - C
1 Bobina oscillatore O. Medie QB
1 Bobina d'antenna O. Medie DX
3 Zoccoli noval N. 461
1 Potenziometro da 1 MΩ + 1 MΩ con int. L-45 mm N. 8995
2 Portalampadine per scala N. 1721
2 Lampadine per scala 6 V - 0,05 A
1 Gommino per scala, 190 mm N. 74727
2 Gommini per cristallo N. 77192
1 Cambio-tensioni, avorio N. 7927
2 Manopole colore avorio N. 74848
1 Conduttore d'antenna completo di capocorda . . N. 80153
1 Raddrizzatore al selenio N. . . . . E 220 C 90
1 Cordone rete completo di spina . . . . —
1 Fermacordone per detto N. 20851
- Filo per connessioni. m. 1,50
- Cavetto schermato a due conduttori, cm. 10 . . . N. 5199
- Tubetto sterling, ∅ 1 mm. cm. 10
- Filo nudo, ∅ = 0,7 mm. cm. 10
6 Occhielli per fissaggio zoccoli
2 Viti da 1/8" x 16 N. 4252
4 Viti da 1/8" x 6 N. 4274
8 Dadi da 1/8 . . . . . N. 4607
1 Altoparlante ellitico N. EL1018
- Stagno preparato . . . gr. 20
1 Presa fono N. 1040 (74225)
1 Presa rete . . . . N. 649
1 Ancoraggio a 5 posti N. 80075/5
1 Ancoraggio a 7 posti N. 80075/7-P
1 Ancoraggio a 7 posti N. 80075/7
1 Ancoraggio a 10 posti N. 80248
1 Impedenza A.F. . . . . N. 816
1 Condensatore eelttrolitico 25 μF, 30 V . . . . . . N. 1240
1 Condensatore elettrolitico 40 + 40 μF, 250 V . . . . N. 4170
2 Condensatori a carta 1500 V 0,05 μF
1 Condensatore a carta 1500 V 0,01 μF
2 Condensatori a carta 1000 V 0,05 μF
2 Condensatori a carta 1500 V 2000 pF
1 Condensatore a carta 1000 V 0,01 μF
1 Condensatore a carta 1500 V 3000 pF
1 Condensatore a carta 150 V 0,1 μF
2 Condensatori a carta 150 V 0,04 μF
2 Condensatori a carta 150 V 0,01 μF
1 Resistenza chimica 0,5 W 1 MΩ
1 Resistenza chimica 1 W 1500 Ω
1 Resistenza chimica 0,5 W 10 MΩ
3 Resistenze chimiche 0,5 W 220 kΩ
2 Resistenze chimiche 0,5 W 470 kΩ
1 Resistenza chimica 0,5 W 150 kΩ
1 Resistenza chimica 0,5 W 33 kΩ
1 Resistenza chimica 0,5 W 22 kΩ
1 Resistenza chimica 0,5 W 150 kΩ
1 Resistenza chimica 0,5 W 1 kΩ
2 Resistenze chimiche 1/8 W 2,2 kΩ
1 Resistenza chimica 1/8 W 1000 Ω
1 Resistenza chimica 1/8 W 47 kΩ
1 Resistenza chimica 1/8 W 220 Ω
1 Condensatore a mica 5% 500 pF
1 Condensatore a mica 2% 340 pF
2 Condensatori a mica 5% 100 pF
2 Condensatori a mica 5% 50 pF
1 Condensatore a mica 5% 150 pF
1 Manopola . . . . . N. 74849
1 Manopola . . . . . N. 74850
1 Valvola UCL82
1 Valvola UBF89
1 Valvola UCH81

Lo chassis visto dal lato superiore. Il disegno può interessare in modo particolare per osservare il percorso della funicella della scala parlante, la posizione della squadretta del condensatore variabile, e le numerose parti che sono ancorate alla piastrina fissata sopra al trasformatore d'uscita: da lì si diparte anche il cordone per l'altoparlante

di dei toni più acuti, il che contribuisce, a volte, ad eliminare fruscio di fondo, ecc. Allorchè in serie al condensatore rimane inserito l'intero valore resistivo del potenziometro, l'effetto citato è nullo e tutta la gamma di B.F. passa agli stadi di amplificazione.

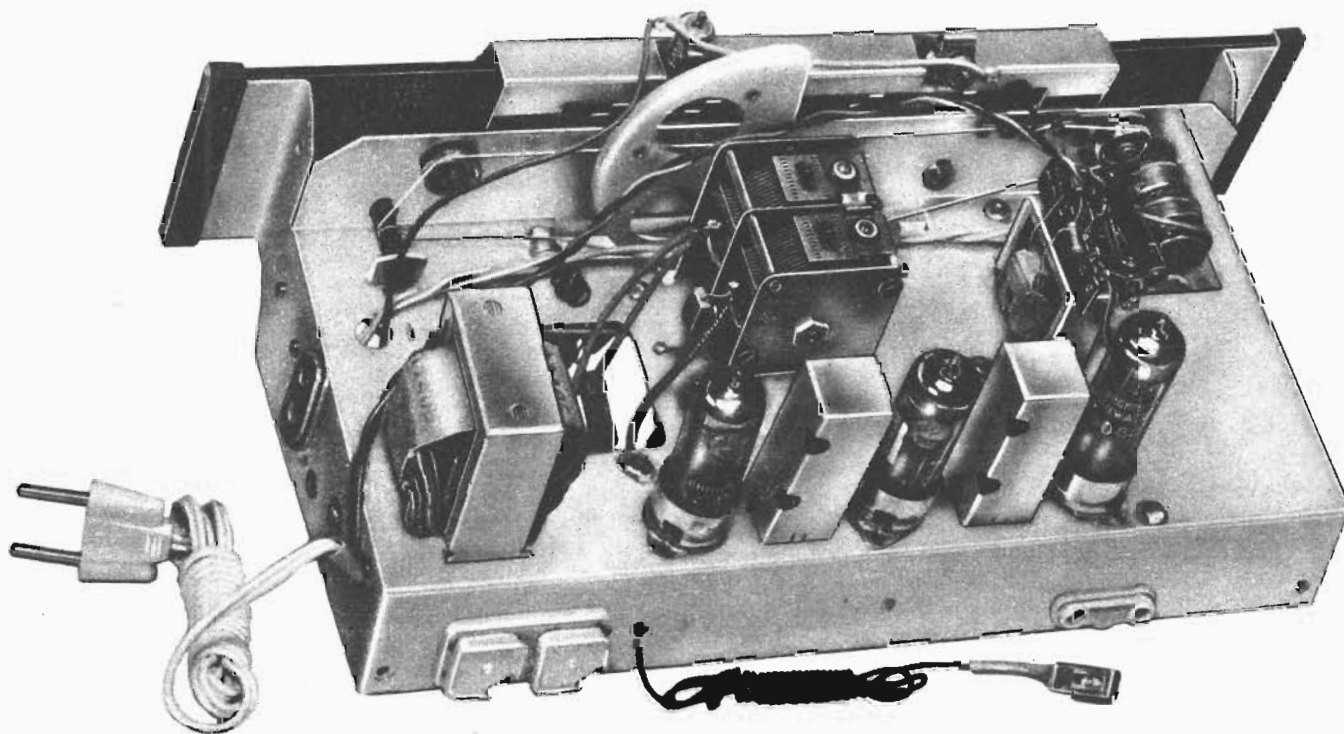
Il triodo contenuto nella UCL82 è in funzione di amplificatore di tensione: dalla sua placca il segnale entra, previa calcolata discriminazione di frequenza a mezzo del condensatore di accoppiamento che è di soli 2.000 pF, alla griglia della sezione pentodo di potenza.

Il carico del pentodo è rappresentato dal trasformatore d'uscita, il cui secondario è a bassa impedenza in quanto deve adeguarsi al valore della bobina mobile dell'altoparlante. La polarizzazione di questa sezione della valvola è ottenuta col sistema della resistenza in serie al catodo; secondo questa disposizione la griglia viene ad essere polarizzata negativamente rispetto al catodo. Come abbiamo visto esaminando i diversi sistemi di polarizzazione (lezione 52ª), in questo caso occorre anche provvedere, affinchè la componente alternata presente ai capi della resistenza catodica venga eliminata: a ciò provvede appunto il condensatore elettrolitico da 25 μF connesso in parallelo.

Non ci rimane che fare un cenno al dispositivo di controreazione che, per l'ottenimento di risultati particolarmente curati dal punto di vista acustico, è stato incluso in modo permanente nel circuito che interessa entrambi gli stadi di amplificazione B.F. Il partitore che si può osservare sullo schema, formato da un condensatore da 0,1 μF, da una resistenza di 2,2 kΩ, da un condensatore da 40.000 pF ed infine da un'altra resistenza di 1000 ohm, fa sì che una parte del segnale esistente ai capi della bobina mobile ritorni, con fase opportuna all'entrata della catena amplificatrice. I valori dei componenti sono stati scelti in maniera da favorire l'amplificazione alle due zone estreme della gamma acustica, in modo che l'effetto finale raggiunto corisponda, come curva di riproduzione, a quella che la pratica ha dimostrato essere la più realistica e gradita.

Diremo in ultimo del circuito di alimentazione e delle sue prerogative. Il lettore noterà, anzitutto, che il cambio-tensioni è costituito da due elementi: si è potuto, grazie alla particolare esecuzione dell'autotrasformatore di alimentazione munito di numerose prese, ottenere, con i due cambio-tensioni, la predisposizione del ricevitore su una qualsiasi tensione di rete tra le seguenti: 100 - 110 - 120 - 130 - 140 - 150 - 160 - 170 - 200 - 210 - 220 - 230 volt. Ciò consente il migliore adattamento in qualsiasi località con compensazioni, in più o in meno, atte a contrapporsi alla deficienza del servizio di distribuzione.

Il raddrizzamento di una semionda si è dimostrato sufficiente grazie all'impiego di elevate capacità di filtraggio ma, sopratutto, per una particolare disposizione di circuito adottata sul primario del trasformatore d'uscita. Una parte dell'avvolgimento è percorsa dalla corrente di placca della UCL82: l'altra sezione è percorsa invece dalla corrente della griglia schermo della stessa valvola e da tutte le restanti correnti anodiche dell'apparecchio. Le correnti citate, per quanto riguarda il residuo di ondulazione in esse presente, si trovano in opposizione di fase e annullano così, reciprocamente, questa loro caratteristica.

In serie al raddrizzatore si osserverà un'induttanza (N. 816). Il compito reale di questo organo non è però di natura induttiva: esso serve semplicemente da fusi-

La fotografia completa il disegno della pagina a fianco. Sono chiaramente visibili, nei trasformatori di Media Frequenza, i fori necessari per accedere alle viti di taratura: il foro superiore è quello relativo all'avvolgimento primario. E' illustrato anche l'impiego dei gommini di protezione da porsi ai bordi del cristallo della scala parlante.

bile di protezione nei riguardi del raddrizzatore a secco, nell'ipotesi che un condensatore di filtraggio venga a risultare in cortocircuito. La presenza di un autotrasformatore per l'alimentazione obbliga alla connessione diretta di rete con la massa dell'apparecchio: è opportuno perciò che siano prese precauzioni affinchè l'operatore non possa accedere allo chassis, o comunque venire in contatto con organi ad esso fissati e non isolati, allorchè il ricevitore è collegato alla rete luce.

IL MONTAGGIO e la MESSA a PUNTO

Lo chassis è particolarmente ampio in considerazione del numero di parti da montare, perciò le relative operazioni risultano facilitate e comode. Il disegno del montaggio e le fotografie riprodotte, nonchè la foratura preventiva del telaio, riteniamo non possano lasciare dubbi circa la dislocazione dei vari componenti. Alcuni di essi sono fissati con viti a dado e ranelle, altri con piedini o linguette che, introdotte nei rispettivi intagli, saranno poi torte leggermente affinchè la parte risulti saldamente ancorata. Non vi è un ordine da rispettare nel montaggio dei componenti: generalmente si suole fissare il condensatore variabile, i trasformatori (alimentazione e uscita, nel nostro caso), le Medie Frequenze, gli zoccoli per valvola, i potenziometri e le prese, nell'ordine citato. Si predispongano anche le diverse piastrine con pagliette di ancoraggio (devono essere saldate allo chassis nel punto di fissaggio a linguetta), il raddrizzatore, le due bobine ed il cambiotensioni.

Si segua un ordine logico nell'eseguire i collegamenti e si segnino con una matita sullo schema elettrico i tratti mano a mano eseguiti. Si potrà, ad esempio, iniziare con la posa dei conduttori relativi all'accensione delle valvole: poi, si sistemeranno i numerosi conduttori del trasformatore di alimentazione. Indi, si potrà seguire lo schema, dal collegamento d'antenna in avanti: bobine con relativa valvola, trasformatori di M.F. e valvole, rivelatore con potenziometri di volume e tono, ed infine, stadio d'uscita e alimentazione anodica. Quello citato non è che un suggerimento, perchè, ripetiamo non vi sono punti critici nei quali un collegamento debba essere eseguito prima di un altro: ciò che raccomandiamo è un accurato ed attento controllo affinchè non vi siano errori e dimenticanze.

Gli zoccoli delle valvole saranno rivettati se si ha la possibilità di eseguire questo sistema di fissaggio, altrimenti saranno fissati con viti a dado: occorre prestare attenzione al loro orientamento con riferimento al numero impresso vicino ai piedini (si veda il piano di montaggio) prima di collocarli.

I punti di « massa » sono facilmente individuabili e vanno rispettati, nel senso che a ciascun punto devono ancorarsi tutti i componenti previsti.

Il trasformatore d'uscita è montato sullo chassis e precisamente sul piano superiore, come si può vedere dalle illustrazioni; su di esso sono ancorati diversi componenti a mezzo di una piastrina a sette linguette. La piastrina, col suo piedino di centro (unito alla corrispondente linguetta) viene saldata sulla fascetta (vale a dire sulla sommità) del trasformatore che costituisce un punto di massa. Alla piastrina sono ancorati: i due condensatori (0,1 μF e 40.000 pF) inerenti la controreazione, le tre resistenze dello stesso circuito (due da 2.200 ed una da 1000 ohm) ed infine anche la resisten-

Disposizioni delle parti all'interno dello chassis e collegamenti relativi. A sinistra si nota il potenziometro doppio, del volume e del tono, al quale è abbinato l'interruttore generale di alimentazione. Come è detto nel testo, molte indicazioni relative ai colori dei conduttori servono semplicemente di orientamento onde agevolare l'identificazione dello stesso filo in diversi punti del telaio: altre sono invece corrispondenti ai conduttori disponibili. Si possono identificare con facilità i diversi punti di « massa » nonchè tutti i componenti e, in particolare, l'utilizzazione delle piastrine di ancoraggio alle singole linguette. Il disegno è utile anche per rilevare l'orientamento da dare agli zoccoli per valvola, prima del loro fissaggio, la posizione delle due induttanze, del raddrizzatore, ecc. Lo chassis — in lamiera di ferro cadmiata — viene fornito con diversi accessori meccanici di montaggio e, naturalmente, è preventivamente forato: ciò rende molto facile il collocamento delle diverse parti. Lo chassis vero e proprio (senza cioè, la scala parlante) misura cm 29 di lunghezza, cm 12 di profondità e cm 4 di altezza. Nel mobile, l'altoparlante trova posto al di sopra dello chassis, in posizione centrale.

Anche in questo caso la fotografia aiuta ad individuare le parti riprodotte nel disegno costruttivo della pagina di fianco. Riteniamo che con l'ausilio, sia di queste che delle precedenti illustrazioni, risulti molto facile effettuare il montaggio.

za da 220 ohm che nello schema elettrico figura vicino al potenziometro regolatore di volume. Fanno capo alla piatrsina, inoltre, il condensatore da 10.000 pF che è in parallelo ad una parte di avvolgimento primario del trasformatore d'uscita e la resistenza da 1.500 ohm (1 watt) che risultá in serie all'alimentazione anodica di tutto l'apparecchio, ad eccezione della placca del pentodo UCL82.

I nostri disegni riportano diverse indicazioni di colori riferiti ai collegamenti: mentre per alcuni il colore corrisponde realmente ai fili disponibili (come ad esempio, per l'autotrasformatore di alimentazione: si veda anche lo schema elettrico), in altri casi l'indicazione è puramente orientativa e serve ad individuare il percorso compiuto dal conduttore, specialmente allorchè esso si trova in parte sotto e in parte sopra allo chassis.

Per il fissaggio del condensatore variabile si utilizzerà una apposita squadretta: ad essa è opposto, in funzione di altra squadretta di supporto, un piccolo settore della lamiera stessa del telaio, ripiegato in alto. Nel montaggio, su entrambi i lati si interporranno i due particolari gommini. Il montaggio, reso in tal modo elastico, risulterà antimicrofonico. E', quello della microfonicità, un fenomeno al quale non abbiamo ancora accennato: in questa sede ci basterà dire che, se le lamine del condensatore variabile (sezione dell'oscillatore) potessero, in seguito agli impulsi sonori dell'altoparlante, facilmente vibrare, ne nascerebbe una modulazione che, a sua volta amplificata, aumenterebbe progressivamente l'inconveniente sì da dar luogo ad un continuo fischio, o per meglio dire al cosiddetto « urlo » microfonico.

Per ciò che riguarda la scala parlante, si disporrà la puleggia grande a semicerchio, sull'albero del variabile, in modo che, guardando l'apparecchio frontalmente, tutto il settore rimanga a destra (così come si vede nel disegno riproducente lo chassis dal di sopra): in tale posizione la puleggia potrà essere fissata all'albero a mezzo delle apposite viti, avendo cura di far sì che le lamine mobili risultino completamente estratte. Ciò equivale logicamente, alla sintonizzazione sul punto corrispondente all'onda più corta della gamma ricevibile, vale a dire l'estremo a sinistra, (sempre guardando frontalmente) della scala. Si potrà quindi fissare sulla funicella l'indice della scala dopo aver messo in opera la funicella stessa: il suo percorso è intuitivo se si osservano le due piccole pulegge laterali tra le quali superiormente la funicella deve rimanere tesa in senso orizzontale, e si ha presente che sull'albero di comando, nella apposita gola, deve compiere un intero giro avviandosi poi sul rialzo a scanalatura praticato appositamente sullo chassis per scendere ad incontare la gola della puleggia grande. Si controllerà che l'indice si sposti regolarmente tra i due estremi, trasportato dalla funicella, e che alle sue estreme posizioni corrispondano le estreme posizioni della rotazione del variabile. Come ultima operazione si collocheranno il cristallo ed i bottoni di comando.

L'apparecchio è dotato di due prese: una per l'entrata « fono » ed una per un eventuale prelievo della tensione di rete, subordinato sempre all'interruttore generale L'impiego della prima presa è ben noto: ad essa può essere avviato un qualsiasi segnale esterno di Bassa

Frequenza (proveniente da « pick-up » fonografico, da registratore magnetico o da microfono, ad esempio) onde ottenerne l'amplificazione e la riproduzione. Si tenga presente che dal lato « freddo » la presa non è connessa a massa direttamente, bensì tramite un condensatore da 10.000 pF: ciò impedisce che sul conduttore esterno all'apparecchio si inoltri un collegamento diretto con la rete che, come abbiamo già fatto osservare è in contatto con lo chassis.

L'altra presa (posta lateralmente sullo chassis) risulterà comoda per l'allacciamento di alimentazione delle stesse apparecchiature collegate alla presa « fono » (giradischi, registratore, ecc.).

A collegamenti terminati è consigliabile un primo controllo a mezzo di un ohmetro: con esso sarà facile accertarsi, anzitutto, che il lato positivo dell'alimentazione anodica non presenti cortocircuiti verso massa. Successivamente, si verificherà l'apparecchio sotto tensione e si controlleranno le tensioni ai diversi elettrodi delle valvole, che dovranno corrispondere a quanto è riportato nella seguente tabellina:

VALV.	FUNZIONE	Piedini zoccolo								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
					c.a.	c.a.				
UCH81	convertitrice	56	NM	0	39	58	152	-10	45	-10
UBF89	amplif. M.F.	56	0	0	20	0	152	NM	0	0
UCL82	rivelat. e B.F.	NM	11,2	NM	58	108	192	184	0	64

Le misure sono state effettuate con un voltmetro a valvola: è ammessa una tolleranza del 10% sui valori indicati, ed è possibile utilizzare anche un voltmetro ad alta resistenza interna. L'indicazione « NM » significa « non misurare ». Si tenga presente che le tensioni sui filamenti sono in alternata e che i piedini 4 e 5 di ogni valvola si intendono nell'ordine di numerazione nella catena di collegamento in serie, citato nella didascalia che è riportata con lo schema elettrico.

Ora dovremmo occuparci della taratura, vale a dire di questa serie di operazioni mediante le quali il ricevitore, con opportuni ritocchi ai diversi circuiti risonanti, viene predisposto per il suo più alto rendimento. Dobbiamo a questo proposito, distinguere tra il lettore che con il presente montaggio si è accinto per la prima volta alla costruzione di una supereterodina ed il lettore che non è più alle prime armi. Nel primo caso risulta più che opportuna una dettagliata esposizione della procedura, accompagnata, ovviamente — dati gli intenti dei nostri testi — da un esame dei problemi che questa importante fase finale della realizzazione comporta. Per questo motivo abbiamo preferito dedicare alla taratura delle supereterodine in genere, un'intera lezione. Le note che seguono, quindi, serviranno principalmente a chi già conosce la tecnica relativa, pur risultando, ben inteso, valide anche per loro che nella futura lezione troveranno risposta ad eventuali dubbi in merito.

Va subito detto che, grazie alla taratura preventiva che le bobine ed i trasformatori di Media Frequenza ricevono già presso la fabbrica, la taratura totale del ricevitore si riduce più che altro ad una correzione dei valori, necessaria in quanto la posa dei fili di collegamento si traduce in una leggera alterazione dei valori capacitivi, variabili da montaggio a montaggio. Stante quanto sopra, si verifica che una sufficiente taratura può essere eseguita anche senza l'ausilio dell'apposito generatore di segnali, basandosi solo sulle diverse stazioni emittenti di cui è possibile conoscere la lunghezza d'onda.

Una taratura migliore, completa, e assai più rapida, si effettua, naturalmente, servendosi — nella maniera che, per chi è pratico, può dirsi abituale — dell'oscillatore modulato, e del voltmetro per corrente alternata in lettura della tensione d'uscita del segnale.

Predisponendo l'oscillatore modulato in modo che generi una frequenza di 467 kHz ci si occuperà per prima cosa di portare i circuiti di Media Frequenza al loro rendimento massimo. Si collegherà il cavetto schermato d'uscita dell'oscillatore alla griglia della valvola UCH81 (piedino 2), avendo cura di ruotare il condensatore variabile in maniera che presenti tutte le armature incluse. Si interponga un condensatore da 1.000 pF tra la griglia ed il conduttore recante il segnale, e un altro condensatore, da 10.000 pF, tra la massa (chassis del ricevitore) e la calza schermante del cavetto d'uscita dell'oscillatore modulato. Il segnale proveniente da quest'ultimo dovrà essere piuttosto elevato, specialmente se nell'altoparlante non si udrà ancora la nota della modulazione.

Si tarerà per primo, il secondario del trasformatore di Media Frequenza 672, poi il primario, indi il secondario del trasformatore 671 e poi ancora, il relativo primario. La giusta posizione dei nuclei di questi trasformatori è quella che coincide, come è logico, con la massima uscita segnata dal voltmetro di controllo posto ai capi della bobina mobile. Durante queste operazioni l'intensità del segnale del generatore sarà gradualmente ridotta.

Tarati i trasformatori di Media Frequenza si passerà alla taratura delle induttanze di Alta Frequenza. A tal uopo, l'oscillatore modulato dovrà essere predisposto per la generazione di un segnale di 600 kHz (500 m), e il suo allacciamento con l'apparechio sarà spostato sull'entrata di antenna, sempre lasciando il condensatore da 10.000 pF sul lato massa del cavetto e sostituendo l'altro con uno da 200 pF.

Si porterà l'indice della scala sull'indicazione 600 kHz, e si agirà sul nucleo di *QB* (comandato dall'apposita vite sporgente al di sopra dello chassis) sino ad ottenere la piena corrispondenza. L'indice sarà poi spostato su 1.600 kHz: l'oscillatore modulato genererà tale frequenza, e sarà cercata anche in questo caso la corrispondenza, ma agendo sul compensatore del variabile (sezione più lontana della scala).

Successivamente si tornerà alla generazione di 600 kHz ed alla sua sintonizzazione: si tarerà allora non più la bobina dell'oscillatore locale, ma quella di *DX*, per la massima uscita. Cambiando ancora frequenza del generatore ed accordo del ricevitore, ci si riporterà su 1.600 kHz e si tarerà per la massima uscita agendo sul compensatore del condensatore del circuito d'entrata.

Eventualmente, si ripeta tutto il ciclo delle citate operazioni per una messa a punto scrupolosa.

DOMANDE sulle LEZIONI 70ª e 71ª

N. 1 —
Quale è il maggior vantaggio della supereterodina, nei confronti del ricevitore a stadi accordati?
N. 2 —
Quante e quali sono le frequenze presenti all'uscita di un convertitore?
N. 3 —
Cosa si intende per « interferenza di immagine »?
N. 4 —
Quali sono i fattori che determinano la scelta del valore della M.F.?
N. 5 —
Quale è la frequenza in corrispondenza della quale si verifica l'interferenza d'immagine, se il segnale ricevuto è di 760 kHz, e la M.F. è di 455 kHz?
N. 6 —
Quale è il compito del « padder » nell'oscillatore?
N. 7 —
In un eptodo convertitore, come avviene l'accoppiamento tra il segnale di ingresso e quello dell'oscillatore?
N. 8 —
Nelle supereterodine adatte alla ricezione di frequenze molto elevate, per quale motivo si preferisce un oscillatore separato ed uno stadio mescolatore?
N. 9 —
Cosa si intende per guadagno di conversione?
N. 10 —
Per quale motivo, in un ricevitore supereterodina, si preferisce il sistema di rivelazione a diodo?
N. 11 —
In che cosa differisce il circuito C.A.V. normale dal circuito C.A.V. ritardato?
N. 12 —
Quali e quanti sono gli stadi indispensabili in una supereterodina? Quali sono quelli facoltativi?
N. 13 —
Per quale motivo lo stadio rivelatore consta in molti casi di un doppio diodo e non di un diodo solo?
N. 14 —
Per quale motivo si preferisce far funzionare lo stadio oscillatore su una frequenza maggiore di quella del segnale in arrivo?
N. 15 —
Per quale motivo, aumentando il valore della Media Frequenza, diminuisce la probabilità che si manifesti l'interferenza di immagine?
N. 16 —
Nel ricevitore descritto alla lezione 71ª, quale è il compito dei due condensatori da 10.000 pF presenti in serie ai contatti della presa « fono »?
N. 17 —
Quale è il compito del condensatore presente in parallelo alla resistenza di catodo della valvola finale UCL82?
N. 18 —
Per quale motivo il trasformatore d'uscita è munito di una presa intermedia?

RISPOSTE alle DOMANDE di Pag.545

N. 1 — I trasmettitori, ed i generatori di segnali. I primi per le radiocomunicazioni, ed i secondi per la riparazione e la messa a punto delle apparecchiature.
N. 2 — Le capacità e le induttanze presenti nei circuiti di placca e di griglia.
N. 3 — La reazione induttiva, e la reazione capacitiva.
N. 4 — Nella reazione induttiva, una parte dell'energia del circuito di placca viene retrocessa al circuito di griglia mediante un accoppiamento a trasformatore. Nel secondo caso l'accoppiamento è capacitivo.
N. 5 — Due: la misura della corrente di griglia, e la misura della tensione presente ai capi della resistenza di griglia.
N. 6 — Per far sì che esso produca oscillazioni senza necessità di una perturbazione esterna, e sia stabile nel funzionamento.
N. 7 — La frequenza delle oscillazioni è di 159 kHz.
N. 8 — Affinchè, per la corrente continua, esista la possibilità di scorrere tra la griglia ed il catodo, e tra il catodo e la placca.
N. 9 — Attraverso la capacità interelettrodica presente tra la placca e la griglia internamente alla valvola stessa.
N. 10 — Perchè — in tal caso — il carico del circuito oscillante di placca rimane isolato dalla sezione oscillatrice propriamente detta, ad opera della griglia schermo. Qust'ultima infatti compie la funzione di anodo, e non fa parte del circuito al quale viene applicato il carico stesso.
N. 11 — L'attitudine, da parte di certe sostanze, ad emettere impulsi elettrici allorchè vengono sollecitate, ed a vibrare se sottoposte ad impulsi elettrici.
N. 12 — Maggiore di quella caratteristica del cristallo.
N. 13 — L'induttanza e la capacità presenti nei circuiti di placca e di griglia, o le resistenze e le capacità se si tratta di un circuito del tipo RC.
N. 14 — Le resistenze e le capacità mediante le quali vengano effettuati gli accoppiamenti tra i due stadi che costituiscono l'oscillatore.
N. 15 — La lampadina, o il termistore, esercitano una azione di stabilizzazione del segnale, grazie alla variazione di resistenza corrispondente alle eventuali variazioni del segnale stesso.
N. 16 — Perchè ciascuna determina uno sfasamento di 60°, e lo sfasamento totale necessario ammonta a 180°.
N. 17 — Quello di limitare notevolmente il coefficiente di amplificazione, riducendolo tanto quanto basta per mantenere appena le oscillazioni prodotte. La perdita di amplificazione va però a tutto vantaggio della purezza del segnale, e della linearità di ampiezza col variare della frequenza.
N. 18 — La fondamentale è la frequenza effettiva prodotta dall'oscillatore. L'armonica è una frequenza multipla della fondamentale, corrispondente al doppio, al triplo, al quadruplo, ecc., a seconda che si tratti rispettivamente della seconda, terza, quarta armonica, e così via.

Nelle lezioni 34ª e 35ª, abbiamo appreso la teoria relativa al funzionamento dei filtri composti da induttanza, capacità e resistenza. Troveremo sempre più frequente l'impiego dei filtri di attenuazione nella materia che sarà oggetto delle lezioni future. Tali filtri si dividono in tre categorie principali: filtri **passa-banda,** aventi caratteristiche tali da consentire il passaggio di una certa gamma di frequenze senza attenuazione apprezzabile, e di attenuare invece tutte le altre frequenze ad essa estranee; filtri **passa-alto,** destinati ad attenuare tutte le frequenze il cui valore è inferiore ad un certo limite, lasciando passare indisturbate le frequenze superiori al limite stesso; infine, i filtri **passa-basso,** destinati ad attenuare le frequenze superiori ad un certo limite, lasciando passare indisturbate le frequenze inferiori.

Un caso tipico dell'uso di tali filtri verrà appreso allorchè ci occuperemo dei ricevitori a modulazione di frequenza, nei quali essi sono di impiego comune, oppure in determinati strumenti di misura, come ad esempio gli oscillografi a raggi catodici.

Il calcolo di questi filtri è relativamente complesso, tuttavia la tebellá 69 qui riportata sotto il titolo di « Calcolo di filtri attenuatori », consentirà un calcolo abbastanza esatto e rapido, mediante l'impiego delle formule riportate sotto agli schemi riferiti ai vari casi.

Come abbiamo visto, i tipi principali sono i filtri a « T », ed i filtri a « π ». Tutti i filtri elencati nella tabella cui ci riferiamo sono del tipo non bilanciato, aventi cioè un lato a massa. Per trasformarli in filtri bilanciati, per l'impiego — ad esempio — nell'accoppiamento alle due griglie di uno stadio di amplificazione finale in controfase, è tuttavia sufficiente dividere in due il valore della camponente reattiva in serie, distribuendolo simmetricamente in parti eguali nei due lati del circuito.

In ogni filtro bipolare, (ossia a due linee, di cui una di andata e una di ritorno), si hanno sempre — in ultima analisi — due valori di impedenza risultante, di cui uno in serie all'intero circuito (che chiameremo Z_1), ed uno in parallelo (Z_2). Quando le carateristiche del filtro sono tali che il prodotto tra questi due valori è indipendente dalla frequenza, si ha che:

$$\sqrt{Z_1 \times Z_2} = « k »$$

In tal caso la cellula filtrante viene denominata **a k costante,** in quanto il valore di «k» è — ripetiamo — indipendente dalla frequenza del segnale circolante. I filtri di questo tipo sono di uso più comune, tuttavia, quando l'attenuazione richiesta è più critica, o comunque maggiore, è possibile aggiungere al circuito fondamentale altri componenti, ossia altre capacità ed induttanze, sia nel ramo in serie che in quello in parallelo. Si ottiene così la cellula definita col nome di **derivata a m.** Tali filtri consentono una attenuazione infinita per frequenze che superano — oltre un certo limite — la frequenza di taglio, rappresentata dal simbolo f_c.

Il fattore m è riferito al rapporto tra la frequenza di taglio (quella cioè in corrispondenza della quale comincia a manifestarsi l'attenuazione), ed il valore di frequenza per la quale l'attenuazione è massima

Nel normale impiego delle cellule ad m, tale fattore può essere — generalmente — pari a 0,6 circa. In tal caso, il valore di f sarà pari a 1,25 volte la frequenza di taglio per i filtri passa-basso, ed a 0,8 volte la frequenza di taglio per i filtri passa-alto.

R rappresenta la resistenza ohmica del carico applicato. Il simbolo f_1 rappresenta la frequenza di taglio inferiore, ed f_2 la frequenza di taglio superiore. Le unità e di misura di induttanza L, di capacità C, di resistenza R e di frequenza f, devono essere considerate, rispettivamente, in henry, in farad, in ohm, e in hertz.

Nei filtri contenenti più di una induttanza, è importante che non si verifichino accoppiamenti induttivi tra le induttanze stesse. A tale scopo, ciascuna di esse deve essere opportunamente schermata, e collocata a distanza adeguata.

Supponiamo — ad esempio — di dover calcolare un filtro passa-alto a « T », a « k » costante, tale da eliminare le frequenze inferiori a 1000 Hz e da consentire invece il passaggio delle frequenze superiori. Supponiamo inoltre che la resistenza interna del carico sia pari a 100.000 ohm. In tal caso abbiamo:

R = 100.000

f_c = 1.000

Dalla tabella apprendiamo che, per questo tipo di filtro,

$$L = \frac{R}{4 \pi f_c} \quad e \quad C = \frac{1}{4 \pi f_c R}$$

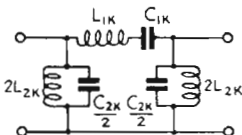
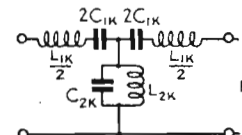
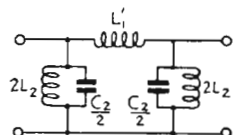
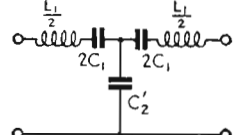
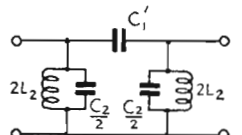
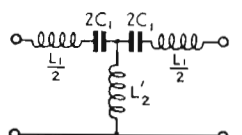
Il simbolo « k » presente al piede delle lettere C ed L nelle formule, significa soltanto che si tratta appunto di filtri a « k » costante.

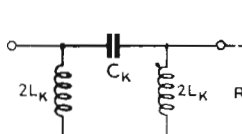
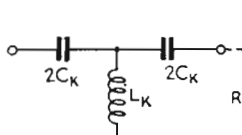
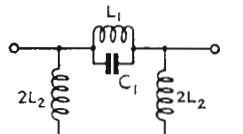
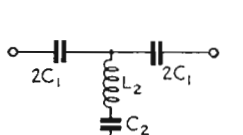
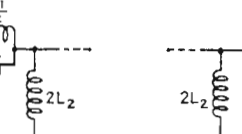
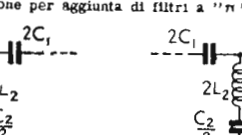
Sostituendo in entrambe i valori noti si otterranno:

$$L = \frac{100.000}{12.560} \qquad C = \frac{1}{1.256.000.000}$$

da cui:

L = 7,87 henry $\qquad C$ = 0.000000000787 farad

= 0,00087 μF

Osservando lo schema del filtro, ed i simboli riportati accanto ai singoli componenti, avremo due condensatori in serie tra loro, aventi ciascuno una capacità di 2 × 0,000787 = 0,001574 (ossia 1574 pF): tra di essi e la massa verrà inserita una induttanza avvolta su nucleo di ferro (dato l'alto valore) di 7,87 henry.

Come abbiamo visto a suo tempo, quando ci siamo occupati nei circuiti di alimentazione, la corrente rettificata pulsante, proveniente dal circuito di rettificazione, viene livellata mediante filtri. Abbiamo anche visto che tali filtri possono essere del tipo RC (ossia resistenza capacità), e del tipo LC (ossia a induttanza e capacità).

I filtri si suddividono — a loro volta — in due categorie: filtri ad **ingresso capacitivo,** nei quali la tensione viene applicata direttamente ai capi del primo condensatore di filtro, come in **figura 1,** e filtri ad **ingresso induttivo,** (o resistivo nei quali detta tensione viene applicata ai capi del primo condensatore attraverso una induttanza (o resistenza) come illustrato in **figura 2.**

Sappiamo anche che la corrente pulsante non può essere considerata continua, in quanto sono presenti in essa semionde, la cui frequenza è eguale a quella della corrente alternata originale se la rettificazione avviene su una sola semionda, e doppia se invece entrambe le semionde vengono rettificate. Dal momento che la frequenza della tensione rete in tutta l'Italia può essere oramai considerata unificata al valore di 50 Hz, la fre-

FILTRI

Passa banda

FILTRI

Passa alto

FILTRI

Passa basso

TABELLA 70 - PERCENTUALE RESIDUA di RONZIO in FUNZIONE della RESISTENZA di CARICO, per FREQUENZA di 50 Hz.

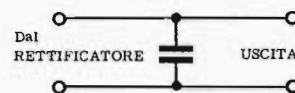



Fig. 1 - Il filtro più semplice consiste nella applicazione di una capacità in parallelo alla uscita. L'esempio riportato sul grafico è riferito al caso di una resistenza di carico di 3.600 ohm, di un condensaotre elettrolitico da 50 µF, e di una frequenza di 50 Hz. Con tali valori la percentuale di ronzio ammonta al 2,3%.

quenza delle ondulazioni della corrente pulsante che ci interessa è — rispettivamente — di 50 o di 100 Hz.

All'uscita del rettificatore, per ottenere una corrente il più possibile paragonabile alla corrente continua, dobbiamo applicare un filtro. I componenti di tale filtro possono essere calcolati con sufficiente approssimazione mediante l'uso dei grafici che qui pubblichiamo.

Consideriamo, innanzitutto, il caso più semplice, quelcioè di una semplice capacità applicata in parallelo all'uscita: ad esso sono riferiti i grafici delle due tabelle 70 e 71, nei quali notiamo che, sull'asse orizzontale, è riportato il valore della resistenza interna del carico applicato. Tale valore è facilmente calcolabile dividendo la tensione disponibile per l'intensità della corrente assorbita dal carico stesso. Sull'asse verticale, è invece riportata la percentuale residua di ronzio in seguito all'applicazione di un condensatore di data capacità.

Il primo di tali grafici (tabella 70), è riferito al caso della rettificazione di una sola semionda, quando cioè la frequenza della componente alternata è di 50 Hz; il secondo (tabella 71) è invece riferito alla rettificazione di due semionde, ossia allorchè la frequenza è di 100 Hz.

In questa serie di grafici, per facilitare la distinzione, le rette di riferimento relative alla frequenza di 50 Hz sono tratteggiate, quelle relative alla frequenza di 100 Hz sono invece in tratto continuo.

Se disponiamo di una tensione d'uscita pulsante pari a 250 volt (ad esempio), ed ai capi di detta tensione, misurando con un voltmetro per corrente alternata ad alta resistenza interna, applicato in serie ad un condensatore di capacità adeguata, leggiamo il valore della residua componente alternata corrispondente a 2.5 volt, possiamo affermare che detta componente alternata o percentuale di ronzio, ammonta esattamente all'1%,

Per conoscere, mediante il grafico, la percentuale di ronzio residua in seguito all'applicazione di una capacità di valore noto, non dobbiamo fare altro che innalzare una perpendicolare avente inizio nel punto della scala orizzontale corrispondente al valore della resistenza del carico, fino ad incontrare una delle rette inclinate presenti sul grafico, corrispondenti a diversi valori di capacità.

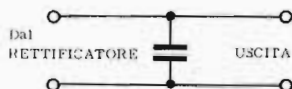
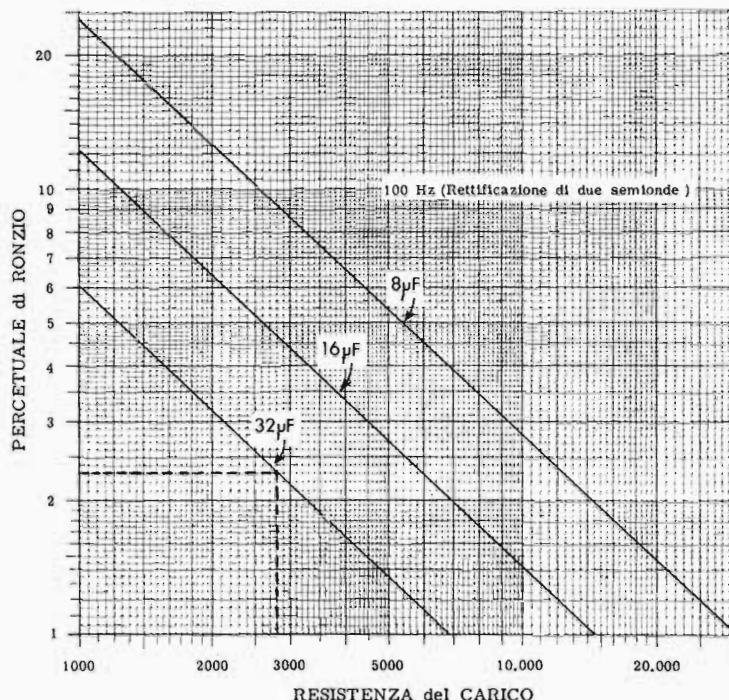
Dal punto di intersezione tra la perpendicolare seguita e la retta corrispondente alla capacità, tracciamo una retta orizzontale verso sinistra, fino ad incontrare la scala verticale. Su questa scala possiamo leggere direttamente la percentuale residua di ronzio.

Come si nota, le rette riportate sui grafici sono riferite a quattro valori di capacità nel primo, ed a tre valori nel secondo, considerati come valori di più corrente impiego. Ovviamente, per altri valori intermedi di capacità è possibile l'interpolazione.

Supponiamo — ad esempio — di avere una tensione pulsante di 300 volt ai capi di un carico di 10.000 ohm. Se la frequenza delle ondulazioni è di 100 Hz, (tabella 71) la percentuale della componente alternata, con capacità di 8 µF, si riduce approssimativamente al 2,8%. Ciò significa che la tensione pulsante può essere considerata ora una tensione continua di 300 volt, con una componente alternata (ronzio) di ampiezza pari a circa 8,6 volt. Analogamente, se raddoppiamo la capacità — ossia se ne applichiamo una da 16 µF — detta percentuale si riduce pressochè all'1,4% (ossia ad un ronzio di 4,3 volt circa).

Affinchè la percentuale di ronzio (che non può mai raggungere il valore zero) diventi tollerabile, ossia non dia all'uscita dell'apparecchio alimentato un ronzio apprezzabile, è necessaria una ulteriore riduzione, che deve essere tanto maggiore quanto più elevata è la classe dell'apparechiatura stessa. Tale ulteriore riduzione può essere conseguita soltanto mediante l'aggiunta di altri componenti al filtro, come ad esempio una induttanza in serie ed una seconda capacità in parallelo.

Per il calcolo dei componenti L e C da aggiungere al

TABELLA 71 - PERCENTUALE RESIDUA di RONZIO in FUNZIONE della RESISTENZA di CARICO, per FREQUENZA di 100 Hz

Se la frequenza della componente alternata è di 100 Hz, l'efficacia della capacità connessa in parallelo è maggiore. Infatti, come si nota osservando l'esempio riportato, con una resistenza di carico pari a 2.800 ohm, ed una capacità di 32 μF, la percentuale di ronzio ammonta al 2,3%.

filtro, si fa uso del grafico della tabella 72. In esso notiamo che, sull'asse orizzontale, è riportato il prodotto $L \times C$, ossia dall'induttanza espressa in **henry**, e della capacità espressa in **microfarad**. Questo grafico ha due rette di riferimento, di cui una a tratto continuo (due semionde), ed una tratteggiata (una semionda).

Supponiamo che nell'esempio precedente, si desideri ridurre ulteriormente la percentuale di ronzio, fino a portarla al valore 0,6% (pari cioè a 1,8 volt su 300). In tal caso, riferendoci al risultato ottenuto con una capacità di 8 μF, il fattore di riduzione della precentuale di ronzio sarà pari a 0,6:2,8 = 0,214 circa. Se individuiamo tale valore sull'asse verticale del grafico, e tracciamo dal punto corrispondente una retta verso destra, incon-

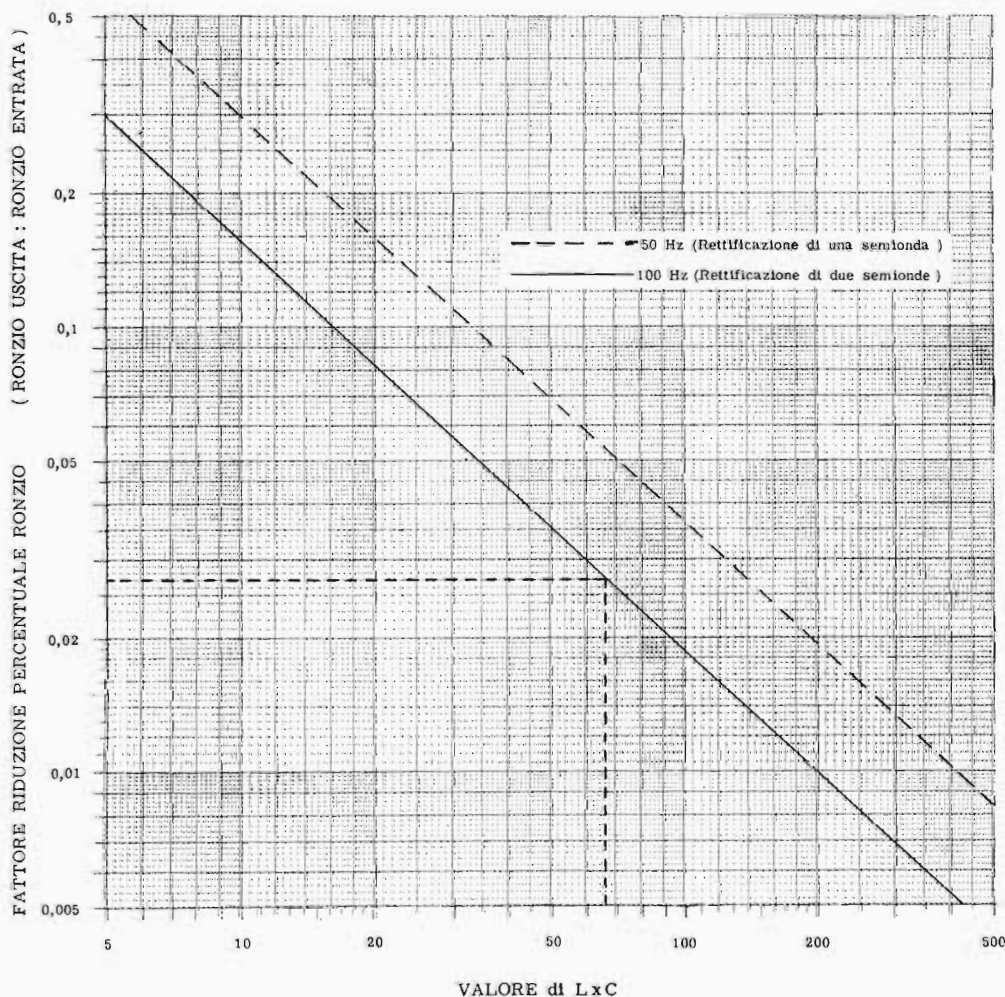



TABELLA 72 - FATTORE di RIDUZIONE della PERCENTUALE di RONZIO per CELLULE «L-C» SUPPLEMENTARI.

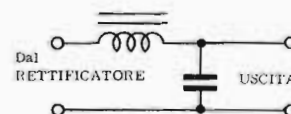



Fig. 2 - Volendo migliorare l'azione di filtraggio, il filtro di figura 1 può essere integrato con quello qui illustrato, il cui ingresso è applicato ai capi del primo condensatore. Nell'esempio riportato sul grafico (riferito alla frequenza di 100 Hz), per ottenere un fattore di ridu-riduzione della percentuale di ronzio pari a 0,027, il prodotto tra i valori necessari di L e di C ammonta a 66.

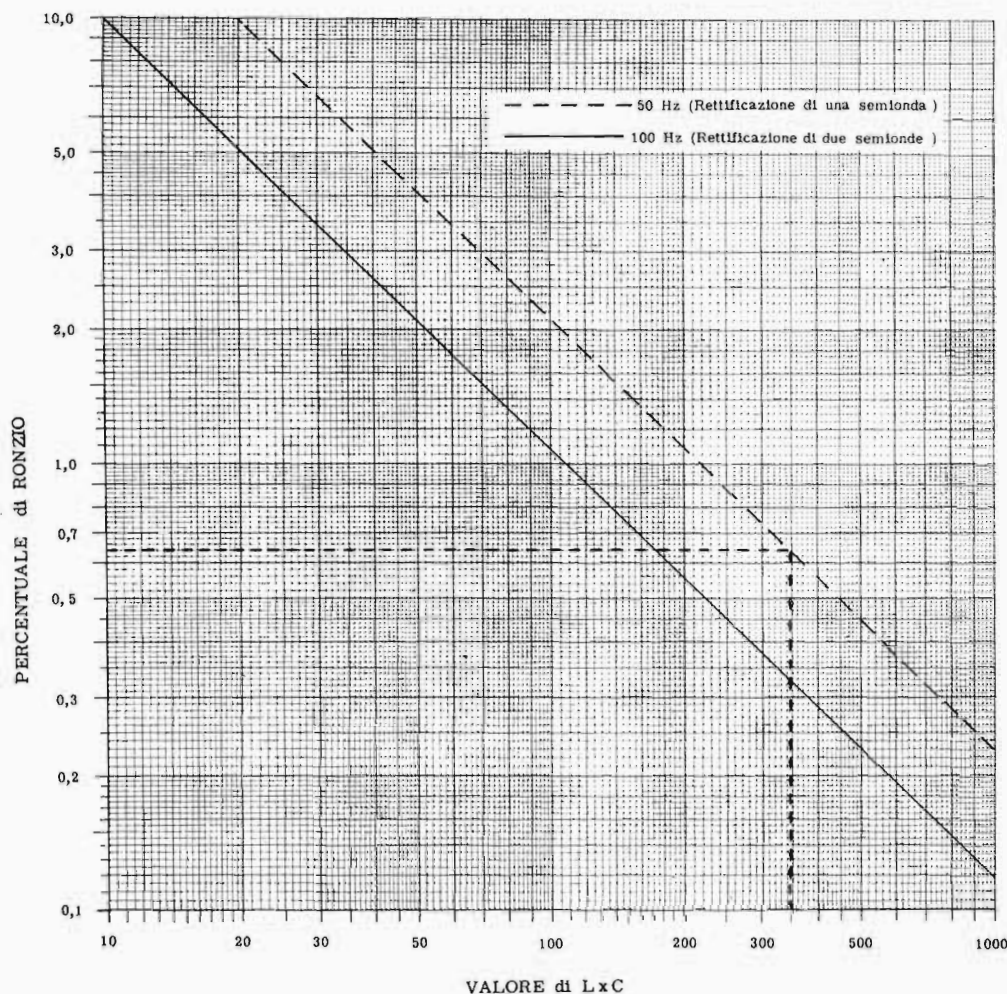
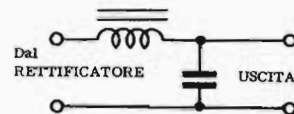



TABELLA 73 - PERCENTUALE RESIDUA di RONZIO per FILTRI ad INGRESSO INDUTTIVO

— — — — 50 Hz (Rettificazione di una semionda)
———— 100 Hz (Rettificazione di due semionde)

PERCENTUALE di RONZIO

VALORE di L x C

In questo caso, la figura illustra un filtro ad ingresso induttivo. Non esiste pertanto la prima capacità considerata nell'esempio precedente. Lo esempio riportato sul grafico, riferito questa volta alla frequenza di 50 Hz, dimostra che, per ridurre il ronzio allo 0,65% del valore totale, è necessario adottare valori di L e di C tali che il loro prodotto sia pari a 350.

triamo la retta inclinata corrispondente alla frequenza di 100 Hz in un punto. Da questo punto abbassiamo una perpendicolare sull'asse orizzontale, che individuerà su quest'ultimo il prodotto *LC* necessario per ottenere la riduzione voluta. Nel nostro caso il prodotto ammonta a 7,2.

Per determinare il valore singolo dell'induttanza e della capacità, si procede come segue: il valore singolo dell'induttanza è dato con buona approssimazione dalla formula:

$$L \text{ (in henry)} = \frac{\text{Res. carico (in ohm)}}{1.000} \times \frac{120}{\text{frequenza}}$$

Di conseguenza avremo:

$L = (10.000 : 1000) \times (120 : 100) = 10 \times 1.2 = 12$ henry.

Noto il valore dell'induttanza, non resta che dividere il prodotto *LC* per 12, onde determinare il valore della capacità in microfarad. Nel nostro caso avremo:

$$C = 7.5 : 12 = 0.625\ \mu F$$

Volendo, la precentuale di ronzio residuo potrebbe essere ulteriormente ridotta, sia aumentando l'induttanza e/o la capacità, sia aggiungendo altre cellule filtranti *LC*. Ciò comunque dipende dalle esigenze dell'apparecchiatura. Inoltre, non esistendo in pratica una capacità di 0.625 μF, si potrà arrotondare tale valore a quello più prossimo disponibile.

Fin qui abbiamo considerato soltanto il caso di filtri ad ingresso capacitivo. Dovendo invece progettare un filtro ad ingresso induttivo, (che tra l'altro, sebbene eroghi una tensione inferiore, ha il vantaggio di consentire una maggiore stabilità nella tensione di uscita), si ricorre al grafico della tabella 73. In esso notiamo che, su l'asse orizzontale, è riportato il valore del prodotto *LC*, sull'asse verticale è riportata la percentuale residua del ronzio in seguito all'applicazione del filtro.

Naturalmente, anche in questo caso le due rette di riferimento sono relative alle due frequenze di 100 e di 50 Hz, a seconda del tipo di rettificatore usato. Conoscendo quindi la percentuale di ronzio che si ammette in uscita, si individua il punto corrispondente sull'asse verticale, e, nel modo consueto, mediante cioè il tracciamento di rette perpendicolari tra loro ed intersecanti l'asse di riferimento, si determina il prodotto *LC*.

Il valore di *L* viene calcolato in questo caso mediante la formula:

$$L \text{ (in henry)} = \frac{\text{Res. carico (in ohm)}}{500} \times \frac{120}{\text{frequenza}}$$

Ad esempio, supponiamo che il carico sia pari a 5.000 ohm, e che si voglia raggiungere una percentuale di ronzio pari allo 0.5%. Il rettificatore sia ad una sola semionda. In tal caso il valore di *LC* ammonta a 370.

L'induttanza sarà data da:

$L = (5.000 : 500) \times (120 : 50) = 10 \times 2.4 = 24$ henry

La capacità da adottare sarà dunque pari a:

$$C = 370 : 24 = 15.4\ \mu F$$

Naturalmente, i valori così calcolati possono essere arrotondati alla cifra tonda superiore, per cui in questo caso, adotteremo una capacità di 16 μF.

Volendo poi migliorare ulteriormente il livellamento, sarà sempre possibile aggiungere ulteriori capacità o, meglio ancora, altre cellule filtranti *LC*.

per RILEGARE

le lezioni del "Corso di RADIOTECNICA„ potete ora disporre di una apposita, razionale copertina - imitazione pelle - con diciture in oro.

La copertina viene fornita con tutto il necessario atto a formare un vero e proprio volume: non si tratta quindi di un semplice raccoglitore, ma di un sistema, brevettato, che consente a chiunque di rilegare, da se, i diversi fascicoli.

Questa copertina prevede la raccolta di 26 fascicoli (metà Corso) - volume 1° -

POTETE EVITARE QUALSIASI ALTRA SPESA PER FORMARE IL VOSTRO VOLUME

L'INVIO VIENE EFFETTUATO A MEZZO POSTA E LE RICHIESTE — ACCOMPAGNATE DALL'IMPORTO DI LIRE 880 + 195 (RIMBORSO SPESE SPEDIZIONE) = **LIRE 1075** - DEVONO ESSERE INDIRIZZATE DIRETTAMENTE AL **« CORSO DI RADIOTECNICA » - VIA DEI PELLEGRINI 8/4 - MILANO.**

L'IMPORTO DI LIRE 1075 PUO' ESSERE VERSATO SUL CONTO CORRENTE POSTALE N. 3/41203, MILANO. — SI PREGA DI SCRIVERE IN MODO MOLTO CHIARO IL PROPRIO INDIRIZZO.

PER I SUCCESSIVI 26 FASCICOLI E' IN PREPARAZIONE LA COPERTINA CON LA DICITURA **« VOLUME II° »**. POTRA' ESSERE ACQUISTATA TRA QUALCHE TEMPO E, DATO IL PARTICOLARE SISTEMA, I FASCICOLI VI **POTRANNO ESSERE RILEGATI OGNI SETTIMANA.**

ALLA FINE DEL **« CORSO »** E' PREVISTA LA PUBBLICAZIONE DI UNA « ERRATA CORRIGE » E DI INDICI MOLTO UTILI E PRATICI PER LA RICERCA DEI VARI ARGOMENTI.

Anche se possedete già dei fascicoli del « Corso di RADIOTECNICA »
VI POTETE ABBONARE

Calcolando un importo di lire 120 (centoventi) per ogni fascicolo in vostro possesso, detraete l'ammontare dalla quota di abbonamento. **Inviando la differenza** precisate i singoli numeri dei fascicoli esclusi.
Se vi interessano invece fascicoli arretrati affrettatevi a richiederli prima che qualche numero risulti esaurito. Attualmente possiamo spedire i fascicoli finora pubblicati, **a lire 150 cadauno** in luogo di lire 300 (prezzo normale degli arretrati).

Versamenti sul conto corrente postale N. 3/41.203 - Milano.

corso di RADIOTECNICA

pubblicazione settimanale - 18 - 25 marzo 1961 - un fascicolo lire 150 25° numero

corso di RADIOTECNICA

settimanale a carattere culturale

Direzione, Amministrazione, Pubblicità:
Via dei Pellegrini 8/4 - Telef. 593.478

MILANO

Ogni fascicolo — contenente 3 lezioni — costa lire 150, acquistato alle edicole.

Se l'edicola risulta sprovvista, o si teme di rimanere privi di qualche numero, si chieda invio settimanale direttamente al proprio domicilio a mezzo abbonamento.

Il versamento per ricevere i 52 fascicoli costituenti l'intero Corso è di lire 6500 + I.G.E. = lire 6630. A mezzo vaglia postale, assegno bancario, o versamento sul conto corr. postale 3/41.203 del « Corso di RADIOTECNICA » - Via dei Pellegrini 8-4 - Milano.

In ogni caso, scrivere in modo molto chiaro e completo il proprio indirizzo.

L'abbonamento può essere effettuato in qualsiasi momento; si intende comprensivo delle lezioni pubblicate e dà diritto a ricevere tali lezioni, che saranno inviate con unica spedizione.

Estero: abbonamento al Corso, Lit. 8.500. ($ 15). Numeri singoli Lit. 300 ($ 0,50).

Per i cambi di indirizzo durante lo svolgimento del Corso, unire lire 100, citando sempre il vecchio indirizzo.

Fascicoli singoli arretrati — se disponibili — possono essere ordinati a lire 300 cadauno.

Non si spedisce contrassegno.

Distribuzione alle edicole di tutta Italia: Diffus. Milanese . Via Soperga, 57 - Milano.

Direttore responsabile: Giulio Borgogno.

Autorizzaz. N. 5357 - Tribunale di Milano.

Stampa: Intergrafica S.r.l. - Cologno Monzese.

La Direzione non rivende materiale radio; essa può comunicare, se richiesta, indirizzi di Fabbricanti, Importatori, Grossisti ecc. in grado di fornire il necessario ed ai quali il lettore può rivolgersi direttamente.

Alla corrispondenza con richiesta di informazioni ecc. si prega allegare sempre il **francobollo per la risposta.**

Parte del testo e delle illustrazioni è dovuta alla collaborazione del Bureau of Naval Personnel, nonchè al Dept. of the Army and the Air Force - U.S.A.

A chi può essere utile questo Corso? Anzitutto — stante la sua impostazione — il Corso, basato sull'esposizione in forma a tutti accessibile, della radiotecnica, dai suoi elementi basilari alla evoluzione più recente, rappresenta la forma ideale per tutti coloro che intendono dedicarsi all'elettronica, sia come forma ricreativa sia — soprattutto — per l'acquisizione di una professione specializzata che possa procurare loro una posizione di privilegio in seno alla società odierna.

Anno per anno, la nostra civiltà si indirizza sempre più verso questa meravigliosa, si potrebbe dire fascinosa, elettronica, che nel modo più evidente consente sviluppi impensati, progressi grandiosi e una rapida evoluzione di tutti gli altri rami dello scibile che essa tocca e influenza.

L'industria, tutta l'industria, nel senso più ampio, da quella elettrotecnica a quella meccanica, alla metallurgica, alla chimica ecc., con i suoi laboratori di ricerca e le sue fabbriche richiede, e richiederà sempre più, con un ritmo rapidamente crescente, tecnici specializzati con conoscenza dell'elettronica, tecnici specificatamente elettronici e persino operai e impiegati di ogni ordine e categoria con cognizioni di elettronica.

Si può dire che anche le branche commerciali, quelle dei trasporti e persino quelle amministrative con le recenti introduzioni delle calcolatrici, abbisognano di personale che conosca i principi dell'elettronica, le macchine relative, il loro pieno sfruttamento, la eventuale riparazione ecc. e, quanto più in modo completo, quanto meglio.

Nasce, da una tale situazione, una logica conseguenza: per la scelta di una professione o di un mestiere, per un miglioramento della propria posizione sociale, per l'intrapresa di una libera attività o anche per la sola acquisizione di cognizioni che indubbiamente verranno oltremodo utili, è quanto mai opportuno riflettere se non sia conveniente dedicare un po' di tempo allo studio di questa scienza che ha tra l'altro il pregio di rendersi immediatamente attraente, concreta, accessibile e foriera di moltissime soddisfazioni.

A questo scopo appunto, e con questi intenti, è stato redatto questo Corso.

Non mancano invero altri corsi (specie per corrispondenza) o scuole di radiotecnica, nè mancano (sebbene siano in numero del tutto inadeguato) scuole statali o pareggiate ma la struttura e l'impostazione che caratterizzano queste 156 lezioni sono alquanto particolari, presentando non pochi vantaggi sulle diverse altre forme di cui si è detto.

Anzitutto vogliamo porre in evidenza **il fattore economico.**

Frequentare regolarmente, durante tutto l'anno, una scuola è certo il modo più logico — anche se non il più rapido — per apprendere ma, tralasciando il fatto che rarissimi sono gli Istituti di radiotecnica, è a tutti possibile dedicarsi esclusivamente, e per l'intero anno, allo studio? Noi riteniamo che chi può farlo costituisca oggi assai più l'eccezione che la regola. Ciò significa infatti poter disporre liberamente del proprio tempo senza avere la necessità di un contemporaneo guadagno: il nostro Corso permette a chiunque di studiare a casa propria, nelle ore libere dal lavoro, senza abbandonare o trascurare quest'ultimo. Ciò caratterizza invero anche altri corsi, ma il vantaggio economico diviene notevole ed evidentissimo se si considera che di fronte all'esborso, anche se rateale, di quasi 80.000 lire che i corsi per corrispondenza richiedono, seguendo il nostro Corso la spesa in un anno risulta di poco più di 7500 lire (150 lire alla settimana presso un'edicola) o di 6630 lire totali, con recapito postale, settimanale, delle lezioni a domicilio.

E' superfluo dire che la Modulazione di Frequenza, i transistori, i circuiti stampati, la trasmissione, il telecomando ecc. sono argomenti integrali del Corso e non costituiscono motivo di corsi speciali, aggiunti o particolari.

Le lezioni di questo Corso — a differenza di molte altre — non sono stampate con sistemi di dispensa, a ciclostile, o con sistemi più o meno analoghi, derivanti cioè da un originale battuto a macchina da scrivere; esse sono stampate in uno stabilimento grafico, con chiari caratteri tipografici da cui deriva una assai più agevole lettura e — fattore certamente di non secondaria importanza — un contenuto molto più ampio, corrispondendo una pagina a stampa a tre o quattro pagine di quelle citate. Il lettore avrà, alla fine del Corso, un volume di ben 1248 pagine di grande formato!

Chiunque, indipendentemente dall'età, dalla professione e dalle scuole compiute **può seguire il Corso.** Alle esposizioni teoriche si abbinano numerose, attraenti, istruttive ed utili descrizioni che consentono la realizzazione di ricevitori, amplificatori, strumenti vari e persino di trasmittenti su onde corte.

A questo proposito è sintomatico il fatto che la Direzione non vuole assolutamente assumere la fisionomia di un fornitore o commerciante di materiale radio, rivendendo agli allievi le parti necessarie. Il materiale occorrente l'interessato può acquistarlo dove e come meglio crede e, assai spesso anzi, già ne dispone. Viene così evitato l'acquisto forzoso, caratteristico più o meno di tutti gli altri corsi.

Anche chi è già radiotecnico, anche chi ha seguito o segue altri corsi troverà il massimo tornaconto in questo completo ed aggiornato lavoro. Molte nozioni, è logico, saranno note, altre un po' meno e sarà utile rinfrescarle, e il tutto infine costituirà un manuale di consultazione, prezioso tanto per la teoria esposta quanto per i numerosi schemi, per le tabelle, per i grafici, gli elenchi, i dati, il vocabolario dei termini ecc.

Concludendo, si può affermare che questo **Corso di Radiotecnica** oltre che come insegnamento graduale si presenta come **enciclopedia e rivista assieme** ciò che permette di formare — con modestissima spesa — **il più completo, ricco, utile e pratico volume di radiotecnica di cui sia dato oggigiorno disporre.**

La TARATURA delle SUPERETERODINE a Modulazione d'Ampiezza

Come abbiamo visto, in un ricevitore supereterodina sono presenti, come minimo, sei circuiti accordati, quattro dei quali sono a sintonia fissa (circuiti dei trasformatori di Media Frequenza), e due sono accordati su una frequenza variabile, a seconda della emittente che si vuole ricevere. I due circuiti a sintonia variabile sono: quello di ingresso dell'A.F. (sintonizzato sulla frequenza della emittente da ricevere) e quello dell'oscillatore locale (accordato su una frequenza che differisce da quest'ultima — generalmente è superiore — di un valore pari a quello della Media Frequenza). Nella lezione relativa alla teoria della supereterodina è stata spiegata la ragione di ciò. Da quanto visto finora, risulta chiaro che un ricevitore supereterodina — per poter funzionare correttamente con elevata sensibilità e selettività —— deve venire allineato in modo che:

1) I quattro circuiti di Media Frequenza siano accordati sulla frequenza nominale (in generale compresa tra i 450 ed i 470 kHz per i comuni ricevitori di radiodiffusione).

2) La differenza tra le frequenze di accordo del circuito monocomandato d'antenna e dello oscillatore locale (accordo scalare) sia il più possibile costante su tutta la gamma nella quale ha luogo la sintonia.

3) E' inoltre opportuno che il circuito dell'oscillatore locale sia allineato in modo tale che la frequenza ricevuta corrisponda a quella indicata sul quadrante del ricevitore.

Le necessità di cui sopra vengono soddisfatte mediante la regolazione dei « trimmer » e dei « padding » nonchè dei nuclei in ferrite dei circuiti accordati.

L'invecchiamento dei componenti, la variazione delle caratteristiche delle valvole elettroniche, le mutevoli condizioni climatiche (temperatura ed umidità), o la presenza di vibrazioni meccaniche, sono alcune tra le più comuni cause di disallineamento di un ricevitore nel tempo.

Anche le regolazioni poco accorte di personale inesperto sono spesso più di danno che di utilità, perchè possono aumentare il tempo richiesto per la identificazione di eventuali guasti di per sè poco importanti, dato che compromettono la sensibilità e la selettività del ricevitore.

Ogni ricevitore che presenti una bassa sensibilità può necessitare di una revisione; ciò, tuttavia, non vuol dire che sia sempre necessario un riallineamento. Il riallineamento però, anche se non necessario, può risultare opportuno dopo le riparazioni che prevedono la sostituzione di componenti, ed il rifacimento di collegamenti, particolarmente nei circuiti ad Alta Frequenza; per chi è attrezzato adeguatamente è operazione relativamente semplice, consigliabile comunque anche come semplice verifica.

Normalmente occorre riallineare un ricevitore quando la stabilità ed il volume di riproduzione risultano insufficienti, beninteso, senza che ciò sia imputabile ad altri guasti o alla presenza di valvole esaurite.

Occorre inoltre procedere al riallineamento quando i circuiti ad Alta Frequenza e dello oscillatore locale risultano accordati scalarmente in modo difettoso, cioè quando la frequenza indicata dal quadrante non corrisponde a quella del segnale entrante. E' bene prima assicurarsi — a questo riguardo — che l'inconveniente non sia semplicemente dovuto allo spostamento meccanico dell'indice.

Incidentalmente, diremo che vi sono casi in cui eventuali guasti nei circuiti di A.F. possono essere localizzati modificando l'allineamento del ricevitore. Un caso — ad esempio — può essere quello di un compensatore in corto-circuito, posto in parallelo ad una bobina di bassa resistenza; esso viene scoperto più facilmente notando l'assenza del picco di sovratensione nel variare l'accordo del circuito in prova, che non effettuando una misura diretta di resistenza.

Occorre riallineare il ricevitore anche quando si sostituiscono una o più valvole in circuiti critici, come lo oscillatore e lo stadio di Alta Frequenza. Infatti, la sostituzione di valvole comporta spesso la variazione delle capacità di ingresso interelettrodiche, variazioni che dissintonizzato i circuiti cui tali valvole sono connesse, riducendo in definitiva la sensibilità del ricevitore.

Prima di effettuare o di modificare l'allineamento di un ricevitore (qualora si tratti di riparazione), occorre documentarsi più adeguatamente possibile su di esso per quanto riguarda lo schema e le norme particolari per la riparazione, eventualmente consigliate dal costruttore. In ogni caso, l'allineamento del ricevitore deve essere eseguito dopo la riparazione di altri eventuali guasti.

La procedura consigliata in questa lezione non deve necessariamente essere ritenuta valida per qualsiasi tipo di recevitore: essa serva semplicemente come guida generale, in mancanza di informazioni particolareggiate sul ricevitore in esame.

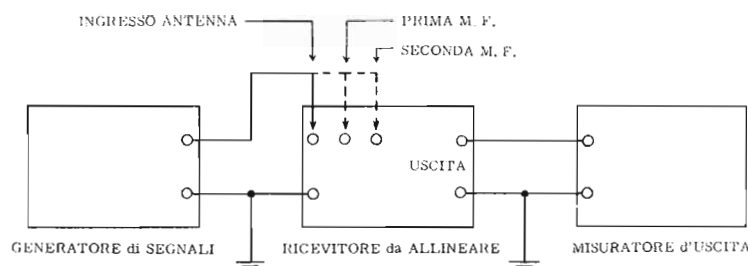



Fig. 1 - Principio di impiego degli strumenti necessari per l'allineamento di un ricevitore supereterodina. Il generatore viene collegato all'ingresso dei due stadi di amplificazione a Media Frequenza, e — successivamente — all'attacco di antenna del ricevitore stesso. Il misuratore di uscita, che può essere un comune « tester », viene collegato all'uscita della sezione di Bassa Frequenza.

Gli STRUMENTI NECESSARI

Per poter procedere all'allineamento di una supereterodina è indispensabile l'impiego di due strumenti:

a) un oscillatore modulato;

b) un misuratore di uscita.

L'oscillatore modulato, di cui abbiamo già riportato due descrizioni ai fini costruttivi, è, come sappiamo, uno strumento capace di fornire una tensione a radiofrequenza modulata in ampiezza. Lo strumento deve poter fornire un certo numero di frequenze di valore noto con la massima esattezza possibile, e cioè: la Media Frequenza (variabile a seconda dei casi da 450 a 470 kHz), nonchè frequenze di 600, 900 e 1.200 kHz, corrispondenti rispettivamente agli estremi ed al *centro elettrico* della gamma Onde Medie (si definisce media elettrica di due frequenze la radice quadrata del prodotto dei quadrati delle due frequenze). Nel caso — assai comune — di ricevitori dotati anche delle gamme di Onde Corte, si possono utilizzare per l'allineamento, le armoniche (frequenze multiple superiori) delle frequenze usate e generate pr l'allineamento delle Onde Medie, fino ad un valore limite, oltre il quale tali armoniche non hanno più un'ampiezza sufficiente.

E' impossibile eseguire un allineamento veramente completo senza un generatore di segnali. Empiricamente, i « trimmer » ed i « padding » potranno anche essere allineati per la massima uscita, ma non è detto che lo accordo scalare, e quindi la sensibilità e la selettività del ricevitore, risultino sufficientemente costanti su tutta la gamma ricevuta.

Il misuratore d'uscita — il secondo strumento cui abbiamo accennato — può essere costituito da un semplice voltmetro per corrente alternata collegato ai capi della bobina mobile dell'altoparlante. Esso ha, in tal caso, lo scopo di sostituirsi all'orecchio umano, meno adatto a percepire piccole variazioni di intensità sonora del segnale in Bassa Frequenza presente all'uscita del ricevitore. La tensione alternata d'uscita può anche essere letta tra la placca della valvola finale e la massa.

L'oscilloscopio, altro strumento adatto allo scopo, al quale però non abbiamo precedentemente accennato parlando di strumenti indispensabili, mostra in realtà la sua utilità quando si tratti di allineare stadi a Media Frequenza di ricevitori aventi bande passanti e curve di risposta particolari (ricevitori ad accordo scalare, a modulazione di frequenza, ecc.). Questo strumento, che a suo tempo conosceremo in tutti i suoi dettagli, rappresenta l'unico mezzo per poter « vedere » le forme d'onda dei segnali amplificati da questi stadi, e valutarne la curva di risposta.

Disposizione degli strumenti

La **figura 1** illustra il principio di impiego degli strumenti citati. Il misuratore di uscita va collegato, durante l'intera fase di allineamento, ai capi della bobina mobile dell'altoparlante (il quale può essere sostituito, per eliminare il suono introdotto dal generatore modulato, con una resistenza equivalente che dissipi l'intera potenza elettrica disponibile). Diversamente, può anche essere, come si è detto, collegato ai capi del primario del trasformatore d'uscita. In questo caso, in serie allo strumento occorre applicare un condensatore avente una capacità minima di 0,25 microfarad, la cui funzione è quella di bloccare la componente continua, cioè impedirne il passaggio. In **figura 2-A** e **2-B** sono illustrate rispettivamente le due possibilità di collegamento.

Le portate dello strumento potranno essere di 100 volt (se collegato al primario del trasformatore d'uscita) e 10 volt (se collegato al secondario del trasformatore d'uscita). Questi dati, naturalmente, sono indicativi.

Per quanto riguarda il collegamento dell'oscillatore, occorre ricordare che il segnale ad Alta Frequenza va inserito prima del circuito da allineare, per cui le connessioni dello strumento mano a mano che un circuito risulta tarato, vanno spostate ripetutamente.

L'ampiezza del segnale dell'oscillatore deve essere tale da non saturare la catena di stadi ai quali esso è applicato. Poichè detto segnale è opportuno sia di ampiezza ridotta, occorre regolare preventivamente il potenziometro del volume per il massimo d'uscita.

Se, procedendo nella taratura, l'indice dell'indicatore d'uscita tende a portarsi a fondo scala, va riportato al centro riducendo **esclusivamente** l'ampiezza del segnale dell'oscillatore.

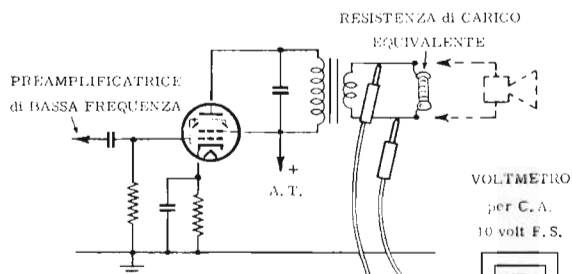



Fig. 2-A - Collegamento del misuratore di uscita sul secondario del trasformatore. L'altoparlante può essere sostituito da una resistenza. La portata è di circa 10 volt fondo scala.

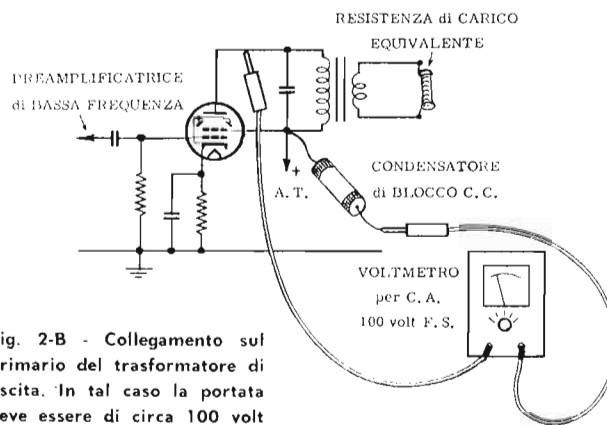



Fig. 2-B - Collegamento sul primario del trasformatore di uscita. In tal caso la portata deve essere di circa 100 volt fondo scala.

ALLINEAMENTO delle MEDIE FREQUENZE

La taratura di un ricevitore si effettua partendo dagli stadi più vicini al circuito rivelatore, e risalendo fino al circuito d'antenna. Durante l'allineamento degli stadi di Media Frequenza di alcuni tipi di ricevitori, è opportuno bloccare l'oscillatore locale per impedire la presenza di segnali spuri dovuti a battimenti, che causano errori nelle operazioni di messa a punto. Si diseccita l'oscillatore, semplicemente cortocircuitando verso massa il relativo circuito accordato (**figura 3-A**).

Questo accorgimento si applica — ovviamente — soltanto durante l'allineamento degli stadi a Media Frequenza.

Il circuito regolatore automatico di sensibilità, detto anche, come sappiamo, controllo automatico di volume, (C.A.V.), deve essere anch'esso escluso durante tutta la fase di allineamento del ricevitore, collegando a massa il filo che porta la tensione negativa di polarizzazione alle diverse valvole. Beninteso, questo collegamento provvisorio va effettuato dopo la resistenza di filtro del C.A.V. (lato bobine) onde non cortocircuitare il segnale di Bassa Frequenza se la tensione del C.A.V. è ricavata dallo stesso diodo rivelatore (figura 3-**B**).

Per quanto riguarda l'allineamento degli stadi a Media Frequenza, il primo circuito da accordare è il **secondario dell'ultimo trasformatore di Media Frequenza,** quello cioè, facente capo al diodo rivelatore (normalmente le supereterodine di produzione commerciale comprendono solamente due trasformatori accordati di Media Frequenza).

Disposto il misuratore d'uscita come precedentemente descritto, si inietta il segnale dell'oscillatore modulato come illustrato in **figura 4,** ossia si stacca il collegamento facente capo alla griglia della valvola amplificatrice di M.F., si collega alla griglia una resistenza da 500 kohm, che dall'altro capo viene connessa a massa, e si unisce la griglia stessa al generatore attraverso un condensatore. Naturalmente, la massa dello strumento va unita alla massa del ricevitore.

Occorre, in secondo luogo, disporre una resistenza di smorzamento in parallelo al primario del trasformatore di Media Frequenza che si sta allineando, come indicato in **figura 5;** ciò evita l'influenza di un avvolgimento sull'altro durante la taratura.

L'allineamento consiste nel regolare i nuclei o i « trimmer » del trasformatore (accessibili attraverso aperture praticate sugli schermi metallici) in modo da ottenere la massima uscita del segnale quando il generatore è sintonizzato su una frequenza eguale al valore nominale della Media Frequenza indicata dal costruttore. Allo scopo di conseguire la massima precisione di lettura, occorre regolare l'intensità del segnale del generatore in modo che l'indice dello strumento indicatore d'uscita si porti a metà scala. Ripetiamo che occorre, naturalmente, non sovraccaricare gli stadi amplificatori accordati.

Per procedere all'allineamento del **primario del trasformatore di Media Frequenza** è sufficiente spostare sul secondario la resistenza di smorzamento, e ripetere la regolazione del « trimmer » o del nucleo del primario, come già visto, onde ottenere la massima indicazione del misuratore d'uscita.

Allineato l'ultimo trasformatore di Media Frequenza, si agisce sullo stadio che lo precede, e si allinea il primo trasformatore di Media Frequenza. Il generatore modulato va spostato sulla griglia della valvola amplificatrice precedente (**figura 6**) ed il segnale va proporzionalmente ridotto per mantenere al centro scala l'indicatore d'uscita. La resistenza di smorzamento va applicata analogamente a quanto visto in figura 5, sul nuovo trasformatore. Occorre, inoltre, ripristinare il circuito di griglia della seconda valvola amplificatrice di M.F., togliendo la combinazione *RC* utilizzata per l'inserimento del generatore. Questo gruppo *RC* va ora applicato alla griglia della prima valvola amplificatrice. L'intero trasformatore viene allineato seguendo la procedura già vista.

Per comodità del lettore occorre ricordare che, di norma, nei trasformatori a Media Frequenza le regolazioni (« trimmer » o nuclei) corrispondenti al primario si trovano nella parte superiore dell'involucro di alluminio che serve anche da schermo elettrostatico, mentre le regolazioni del secondario sono presenti inferiormente, in prossimità del telaio.

Eseguito nel modo descritto l'allineamento dei circuiti a frequenza fissa — operazione che conviene ripetere, per maggiore sicurezza, un paio di volte — occorre bloccare le regolazioni semifisse stabilite, con una goccia di paraffina, di lacca, o di vernice.

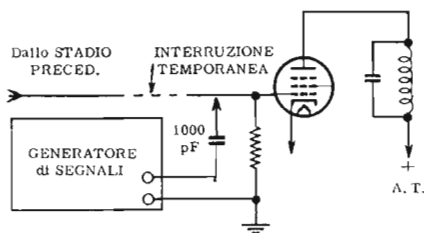



Fig. 3 - Collegamento del generatore di segnali all'ingresso di uno stadio di M.F. Il circuito di griglia viene momentaneamente interrotto, e lo strumento viene connesso attraverso un condensatore. Una resistenza da 500 kohm chiude il circuito di polarizzazione della griglia.

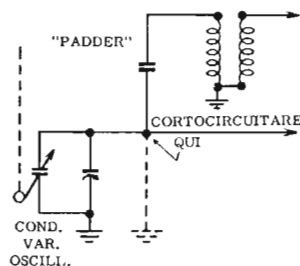



Fig. 4-A Metodo per bloccare provvisoriamente il funzionamento dell'oscillatore, durante le operazioni di allineamento della M.F.

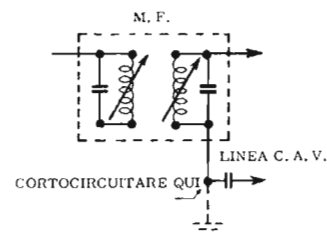



Fig. 4-B - Metodo per bloccare provvisoriamente il funzionamento del C.A.V. durante l'allineamento. In tal modo si ottengono letture esatte dell'uscita.

CURVA di RISPOSTA delle MEDIE FREQUENZE

La tecnica di allineamento descritta nel paragrafo precedente risulta, nella maggioranza dei casi, adeguata alle prestazioni che si possono richiedere ad un comune ricevitore di serie. Nel caso si tratti di un ricevitore con elevate esigenze di fedeltà di riproduzione, nella taratura è necessario tenere conto di alcuni particolari accorgimenti.

Si potrebbe essere indotti a credere che il tarare le Medie Frequenze per un massimo valore d'uscita possa portare ad un optimum sia di sensibilità e selettività, che di fedeltà di riproduzione. Ciò non è del tutto vero, poichè le curve di risposta dei trasformatori di Media Frequenza non hanno mai, come vedremo, un andamento che raggiunge il punto ideale dal punto di vista della banda passante, e quindi, all'aumentare della sensibilità e della selettività, si riscontra in genere una diminuzione della fedeltà di riproduzione, perchè vengono a mancare, in tal caso, le frequenze acustiche più elevate.

Per spiegare questo fenomeno, occorre tenere conto delle seguenti osservazioni.

Quando si modula in ampiezza un'onda portante a radiofrequenza, ad esempio a 1000 kHz, con una Bassa Frequenza, poniamo, a 5 kHz, si ottiene un'onda con un campo di frequenza da 995 kHz a 1005 kHz. Ciò per quanto abbiamo visto occupandoci della modulazione.

Per sfruttare al massimo la gamma delle Onde Medie, esiste un accordo internazionale in base al quale è stata assegnata, ad ogni «canale» di trasmissione, una banda di 9 kHz. Ciò significa 4,5 kHz, in più ed in meno della frequenza centrale.

E' quindi necessario che le Basse Frequenze che modulano la portante non superino mai i 4,5 kHz, altrimenti si invaderebbero i canali adiacenti. E' comunque auspicabile che almeno le frequenze trasmesse, ossia quelle inferiori ai 4,5 kHz, vengano amplificate linearmente dai ricevitori.

Ciò premesso, risulta evidente il fatto che, per ottenere contemporaneamente un'ottima selettività e la massima fedeltà di riproduzione, le curve di risposta delle Medie Frequenze dovrebbero essere del tipo rappresentato alla **figura 7** che noi già conosciamo (lezione 55ª) come curva ideale di responso. E' qui indicata in ascisse, la frequenza, ed in ordinate la tensione trasferita dall'entrata del trasformatore alla sua uscita. Come frequenza centrale si sono scelti i 470 kHz.

Purtroppo, queste condizioni ideali sono pressochè impossibili da raggiungere nella pratica, salvo nel caso in cui si ricorra a circuiti di tipo particolare, che nei comuni ricevitori è assai difficile incontrare.

Infatti, tarando tutti i circuiti delle Medie Frequenze per una massima uscita, si ottiene una curva di risposta simile a quella rappresentata alla **figura 8.** Da essa si può rilevare che, sia la sensibilità che la selettività sono ottime, ma vengono completamente tagliate le parti laterali della banda, con conseguente forte attenuazione delle frequenze superiori ai 2 kHz.

Portando invece le Medie Frequenze lievemente fuori taratura (il primario sul lato delle frequenze più alte ed il secondario su quello delle frequenze più basse) si ottiene una curva di risposta migliore, del tipo di quella indicata alla **figura 9**.

E' questa, la soluzione che si preferisce nei ricevitori di una certa classe, poichè la selettività rimane buona, e la sensibilità diminuisce solo lievemente.

Volendo ricorrere ad una soluzione di questo genere il tecnico deve però fare molta attenzione, poichè procedendo ad un disaccordo troppo spinto dei circuiti si ottiene una doppia curva di risposta, del tipo di quella di **figura 10.** Essa, come si può notare, è tutto altro che buona, sia per quanto riguarda la selettività, che per ciò che si riferisce alla sensibilità ed alla fedeltà di riproduzione; in tal caso, infatti, vengono tagliate non solo le frequenze più alte, ma anche quelle più basse.

Naturalmente le figure 8, 9 e 10 dànno solo l'andamento generico dei tre tipi fondamentali di curve di risposta, potendo poi queste essere, nella pratica, un po' diverse. E' infatti di notevole importanza, a questo riguardo, la bontà dei componenti del trasformatore di Media Frequenza.

Per eseguire l'allineamento di stadi a Media Frequenza di ricevitori ad alta fedeltà è senz'altro indicato l'uso di un oscilloscopio per la osservazione delle forme d'onda.

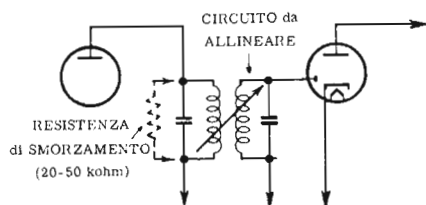



Fig. 5 - Applicazione di una resistenza di smorzamento. Viene effettuata sia sul primario che sul secondario, solo durante le operazioni di allineamento.

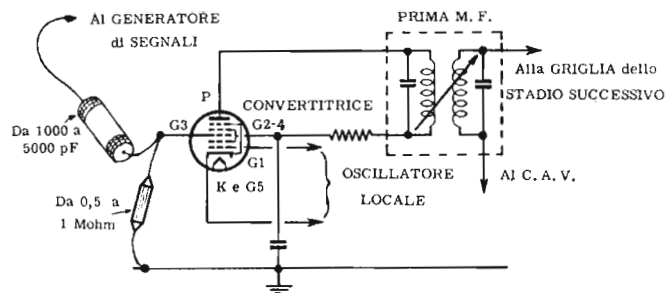



Fig. 6 - Dopo aver ripristinato il circuito di griglia dello stadio di Media Frequenza allineato, si collega il generatore alla griglia dello stadio precedente, sempre attraverso un condensatore, inserendo 0,5 Mohm verso massa.

MEDIE FREQUENZE a SINTONIA SCALARE

In alcuni ricevitori di alta classe, specialmente di produzione straniera, per ottenere una curva di risposta il più possibile vicina a quella ideale di figura 7, si usa il sistema cosiddetto a sintonia scalare. I trasformatori di M.F. vengono regolarmente accordati su proprie frequenze diverse, entrambe comprese nella banda di 4,5 kHz attorno alla frequenza centrale, ma spostate verso i lati. Si ottengono quindi (**figura 11**), due curve di risposta diverse per i diversi trasformatori (curva punteggiata e curva tratteggiata) che complessivamente dànno come risultato la curva a linea piena, che si avvicina notevolmente a quella ideale.

Questo sistema, teoricamente ottimo, risulta in pratica molto complesso per il fatto che, diminuendo in tal modo la sensibilità complessiva del ricevitore, è talora necessaria l'introduzione di un ulteriore stadio amplificatore di Media Frequenza.

Non insistiamo oltre su questo argomento perchè la moderna produzione di apparecchi si orienta ormai verso il tipo a modulazione di frequenza, che ottiene, come vedremo presto, una fedeltà maggiore con metodi relativamente semplici.

La TARATURA del GRUPPO d'ALTA FREQUENZA

Abbiamo visto alla lezione 70ª come, per la corretta ricezione delle emittenti radiofoniche con una supereterodina, occorrano almeno due circuiti la cui frequenza di accordo sia manualmente variabile. Essi svolgono essenzialmente funzioni di selezione e sono: quello accordato sulla frequenza proveniente dal trasmettitore, noto come circuito di accordo, di antenna, o, ancora « di entrata », e quello dell'oscillatore locale; entrambi sono rappresentati nella **figura 12.**

Sappiamo che il comando unico della variabilità di sintonizzazione è possibile solo se la differenza tra la frequenza proveniente dall'esterno e quella generata localmente si mantiene, per ogni posizione del condensatore variabile, eguale al valore prescelto per la Media Frequenza. Abbiamo già esaminato sommariamente il problema relativo, ma riteniamo sia il caso di riprendere l'argomento con maggiore dettaglio in questa sede, data la sua importanza. Immaginiamo di disporre di due condensatori variabili eguali, calettati in « tandem » sullo stesso asse, e di capacità massima eguale a nove volte quella residua; capaci cioè, di coprire, come già visto, una gamma con rapporto 3 tra la frequenza massima ricevibile e quella minima. Supponendo, per esempio, che la capacità minima valga 50 pF (quella massima sarà allora $9 \times 50 = 450$ pF), il campo delle Onde Medie, che va da 500 a 1500 kHz, può venire coperto, per quanto riguarda la sezione di accordo-antenna, con una induttanza di:

$$L = \frac{1}{4\pi^2 f^2 C} \quad \text{dove } f \text{ in Hz, } C \text{ in Farad, } L \text{ in } \mu\text{H}$$

Sostituendo i valori da noi scelti come esempio:

$$L = \frac{1}{4\pi^2\ (500.000)^2 \times 450 \times 10^{-12}} = 220\ \mu\text{H circa}$$

Supponiamo ora che il valore scelto per la M.F. sia di 500 kHz (come si è detto, il valore più comune è 470 kHz, ma abbiamo scelto 500 kHz per brevità matematica) e calcoliamo il valore della capacità assunta dal condensatore variabile al centro della gamma, ossia a 1000 kHz. Dalla solita formula si ricava:

$$C = \frac{1}{4\pi^2 f^2 L}$$

e, sostituendo i valori del nostro caso particolare:

$$C = \frac{1}{4\pi^2 \times (10^6)^2 \times 220 \times 10^{-6}} = 110\ \text{pF circa}$$

Al centro della gamma la frequenza dell'oscillatore locale dovrà essere di 1.500 kHz, onde poter ottenere una differenza 1500-1000 = 500 kHz eguale al valore della M.F. Poichè la capacità del condensatore variabile è sempre di 110 pF, l'induttanza della bobina del circuito oscillatore dovrebbe essere:

$$L = \frac{1}{4\pi^2 f^2 C} = \frac{1}{4\pi^2 \times (1{,}5)^2 \times 10^{12} \times 110 \times 10^{-12}} = 100\ \mu\text{H}$$

Senonchè, in tal caso, si otterrebbe che agli estremi della gamma le frequenze del circuito oscillatore, calcolate mediante la:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

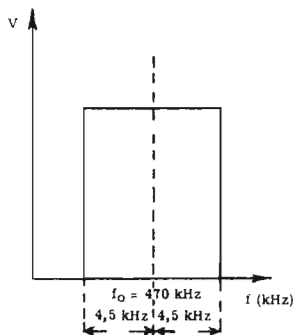



Fig. 7 - Curva ideale di un trasformatore di M. F. Come si nota, il responso sarebbe lineare per 9 kHz.

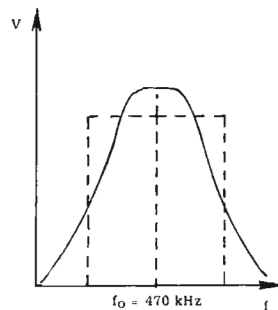



Fig. 8 - Curva di responso della M.F. tarata per la massima uscita. Le frequenze acute vengono in buona parte attenuate.

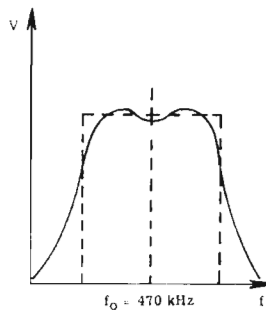



Fig. 9 - Accordando primario e secondario su frequenze diverse, selettività ed amplificazione diminuiscono: la fedeltà aumenta.

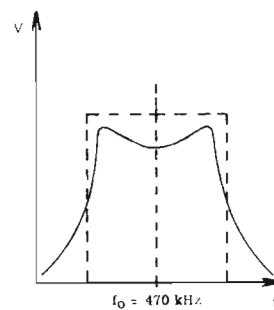



Fig. 10 - Se si esagera il procedimento indicato in figura 9, peggiorano sia la selettività che la fedeltà.

sarebbero, sostituendo i valori di 50 pF e 450 pF, rispettivamente di 2.200 kHz e 730 kHz circa.

Come si può notare, si è quindi, in questo modo, ben distanti dall'avere un valore costante per la differenza tra la frequenza del circuito di accordo e quella del circuito d'oscillatore. Infatti, la frequenza di quest'ultimo è, all'estremo alto, 2.200 kHz invece di 2.000; all'estremo basso è di 730 anzichè di 1000 (**figura 13** - curva 1).

Occorre perciò procedere a correzioni nei valori della capacità, operando nel modo seguente. All'estremo alto si porta la frequenza dell'oscillatore locale a 2000 kHz aumentando la capacità minima del condensatore variabile, e precisamente portandola a:

$$C = \frac{1}{4\pi^2 f^2 L} = \frac{1}{4\pi^2 \times 4 \times 10^{12} \times 100 \times 10^{-6}} = 60 \text{ pF}$$

In tal modo la curva dell'oscillatore locale, — curva 2 nella figura 13 — verrà a coincidere perfettamente col valore ideale (2.000 kHz) per quanto riguarda l'estremo alto. Naturalmente, anche il punto centrale si abbasserà lievemente in frequenza, e così anche l'estremo basso; in quest'ultimo caso però, la variazione percentuale di capacità è inferiore, e la variazione è pressochè inesistente.

Per portare l'estremo basso della gamma sul valore desiderato, ossia sui 1.000 kHz, occorre correggere la capacità massima del variabile diminuendola al valore di:

$$C = \frac{1}{4\pi^2 f^2 L} = \frac{1}{4\pi^2 \times 10^{12} \times 100 \times 10^{-6}} = 220 \text{ pF}$$

ciò si ottiene disponendo in serie al variabile un condensatore da 520 pF (curva 3 - figura 13).

Con questa seconda correzione, si potrebbe pensare che il punto centrale e l'estremo alto si siano spostati. Ciò è vero, ma in misura notevolmente inferiore (in percentuale) a quanto è accaduto per l'estremo basso. Come si può infatti constatare, la capacità residua, corrispondente all'estremo alto, è diminuita solamente da 60 a 53 pF:

$$\frac{520 \times 60}{520 + 60} = 53 \text{ pF circa}$$

e basterà quindi aumentarla di 7 pF.

Con allineamento perfetto, le frequenze dell'oscillatore, diminuite del valore della M.F., dovrebbero coincidere con quelle di accordo antenna. Ci siamo invece limitati a far coincidere le estremità della gamma ottenendo la curva di variazione 1 (**figura 14**). Si ottiene un risultato migliore effettuando la taratura — ad esempio — a 600 e 1.200 kHz. In tal caso, si ottiene la curva 2, molto più prossima a quella del circuito di antenna (curva 3).

Lo scopo essenziale della taratura del gruppo di Alta Frequenza consiste appunto nel far in modo di avvicinarsi il più possibile a queste condizioni ideali. In pratica, accade spesso che il condensatore che si pone in serie al variabile (padder) è fisso; è invece variabile il « trimmer » che si pone in parallelo al variabile stesso. Sono, inoltre, regolabili i nuclei in ferrite delle bobine, ed agendo sia su questi che sui « trimmer » si riesce ad ottenere condizioni che si avvicinano notevolmente a quelle teoricamente auspicabili.

OPERAZIONI PRATICHE di TARATURA

Occupiamoci ora, dopo aver visto in dettaglio problemi e soluzioni del monocomando, delle operazioni di taratura successive a quelle di cui abbiamo detta finora. Dopo aver reinnescato l'oscillatore dissaldando la resistenza ed il condensatore che avevamo posti sulla griglia della convertitrice durante le operazioni precedenti, occorre, innanzitutto, ripristinare i collegamenti così come sono previsti durante il normale funzionamento dell'apparecchio.

In secondo luogo, occorre collegare il generatore di segnali A.F. alla presa d'antenna del ricevitore. Questo collegamento non va però eseguito direttamente, bensì attraverso la cosiddetta **antenna fittizia.**

L'antenna fittizia è costituita da una resistenza e da una capacità, — in serie tra loro — poste in parallelo ad un'induttanza (**figura 15**). I valori comuni per i componenti di questo circuito sono:

C = 200 pF; L = 20 μH; R = 400 ohm.

Questa disposizione ha lo scopo di simulare l'antenna vera e propria del ricevitore; in questo modo, il segnale dell'oscillatore modulato giunge infatti all'ingresso del primo stadio come se giungesse dall'etere. Inoltre, così facendo, si consegue un perfetto adattamento di impedenza tra oscillatore modulato e ricevitore, col ri-

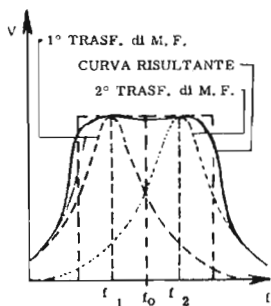



Fig. 11 - La curva risultante dall'allineamento dei 2 trasformatori su singole frequenze equidistanti da quella centrale, consente il risultato migliore.

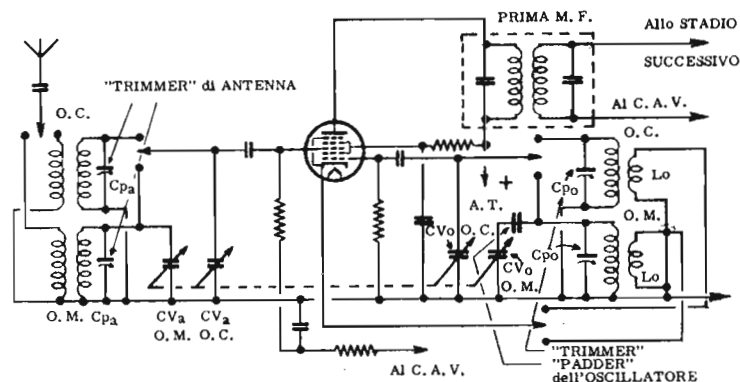



Fig. 12 - Componenti viariabili in uno stadio convertitore. Ogni circuito accordato è provvisto di un compensatore; vi sono inoltre il « padder » ed i nuclei.

sultato che il valore di tensione d'uscita indicato dallo attenuatore dello strumento corrisponde a quello effettivamente presente ai capi dell'ingresso del ricevitore, considerazione importante nel caso di misure di sensibilità.

Volendosi accontentare di risultati più modesti, è possibile collegare direttamente l'uscita dell'oscillatore modulato all'ingresso del ricevitore mediante un condensatore da 200 pF circa. Naturalmente, in entrambi i casi le masse del generatore e del ricevitore vanno unite, altrimenti si eseguirebbe una taratura imperfetta.

Un'operazione preliminare consiste nel verificare che, durante la rotazione delle lamine del variabile dalla posizione di minima capacità, a quella di massima capacità, effettivamente l'indice del ricevitore si sposti dall'estremo alto all'estremo basso della scala parlante. Qualora ciò non si verificasse, occorre spostare in modo opportuno l'indice prima di fissarlo.

Le operazioni che abbiamo fino ad ora descritte hanno carattere generale, e si intendono preparatorie, tanto per la gamma delle Onde Medie, che per le eventuali gamme di Onde Corte. Vediamo ora come si procede ulteriormente a seconda delle gamme suddette.

Onde Medie

Come prima cosa, se il ricevitore è a più gamme, si porti il commutatore sulla gamma delle Onde Medie. Indi si prosegua, eseguendo, nell'ordine, le seguenti operazioni:

1) Attendere un certo tempo (15 minuti o più) dopo l'accensione del ricevitore e dell'oscillatore modulato affinchè sia l'uno che l'altro si stabilizzino termicamente.

2) Verificare che la disposizione delle varie unità sia corretta.

3) Portare l'oscillatore modulato sulla frequenza da 1.200 kHz, agendo sulla sua apposita scala graduata.

4) Portare il selettore di funzioni dell'oscillatore modulato nella posizione « RF modulata ».

5) Portare l'indice del ricevitore sulla frequenza di 1.200 kHz. A questo punto si dovrebbe notare, sul misuratore d'uscita, una deviazione dell'indice, dovuta alla presenza di un segnale B.F. all'uscita del ricevitore.

6) Se non si registrasse alcuna risposta in uscita, supponendo che tutti gli stadi del ricevitore funzionino correttamente, si sposti il comando di sintonia del ricevitore fino ad ottenerla. L'accordo potrebbe ottenersi, ad esempio, con l'indice del ricevitore sui 1.500 kHz o sui 1.250 o su qualunque altra frequenza non troppo distante dal valore esatto.

7) Regolare opportunamente l'attenuatore dell'oscillatore in modo da ottenere una risposta in uscita adeguata (centro scala dello strumento). Tenere sempre presente che, per non saturare gli stadi, è opportuno lavorare con segnali assai bassi. Questa operazione, naturalmente, andrà sempre ripetuta quando, procedendo con l'accordo dei circuiti, la sensibilità del ricevitore aumenta, dando luogo ad un sempre più elevato segnale in uscita.

8) Rendersi conto come accada che, variando con un cacciavite per taratura, la capacità del compensatore del circuito oscillatore locale, si sposti lungo la scala parlante il punto di accordo sui 1.200 kHz; dopo aver preso una certa confidenza con questa operazione, ed avere ben compreso l'andamento del fenomeno, fare in modo che i 1.200 kHz uscenti dall'oscillatore vengano ricevuti con l'indice in corrispondenza dei 1.200 kHz sulla scala parlante.

9) Agire ora sul compensatore del circuito di accordo antenna, e tarare per la massima uscita.

10) Portare la frequenza dell'oscillatore sui 600 kHz, e spostare sui 600 kHz anche l'indice del ricevitore. Valgono qui ancora le osservazioni del precedente punto 6) riferite alla nuova frequenza.

11) Rendersi conto come accada che, variando la posizione del nucleo della bobina del circuito di oscillatore, si sposti lungo la scala parlante il punto di accordo sui 600 kHz. Anche ora, dopo aver preso una certa pratica col fenomeno, disporre il nucleo in modo che i 600 kHz uscenti dall'oscillatore vengano ricevuti con l'indice nella posizione corrispondente.

12) Agendo sul nucleo della bobina di accordo di antenna, tarare per la massima uscita.

13) Tutte le operazioni finora descritte ai punti dall'1) al 12) devono essere ripetute almeno altre due volte, onde affinare la taratura, specialmente per quanto riguarda il compensatore ed il nucleo del circuito d'accordo antenna. Infatti, mentre il circuito d'oscillatore determina — come già il lettore sa — la posizione delle emittenti sulla scala parlante, il circuito d'accordo dell'antenna determina la sensibilità vera e propria

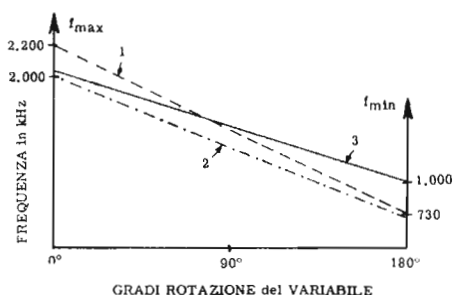



Fig. 13 - Variazione di frequenza dell'oscillatore. 1 - Senza correzione; 2 - Con «trimmer» da 60 pF; 3 - Con «padder» da 220 pF. Con l'aggiunta di 7 pF in parallelo, si ottiene la variazione effettivamente necessaria per l'accordo agli estremi.

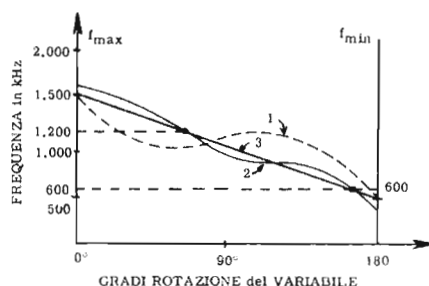



Fig. 14 - Adattamento della variazione di frequenza dell'oscillatore alla curva di antenna. 1 - Curva con allineamento agli estremi; 2 - Curva con allineamento in punti più interni (600 e 1.200 kHz); 3 - Curva di accordo del circuito di antenna (500-1.500 kHz).

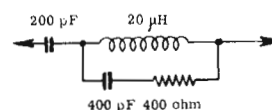



Fig. 15 - Schema dell'antenna fittizia « standard » che è opportuno inserire sul cavo del generatore, onde evitare l'applicazione di un carico all'ingresso del ricevitore.

del ricevitore, e va quindi tarato con la massima cura, onde ricevere anche emittenti lontane.

14) Una volta che si sia ben sicuri di aver eseguito un'ottima taratura, bloccare i nuclei con una goccia di paraffina ed i compensatori con l'apposita vernice.

Onde Corte

Occorre tenere conto che, mentre il principio è il medesimo di quello descritto per le Onde Medie, le operazioni pratiche possono differire notevolmente da caso a caso, principalmente per questi motivi:

1) Mentre per le Onde Medie si potevano fissare le due frequenze di taratura (600 kHz e 1.200 kHz) senza tema di errore, per le Onde Corte i diversi gruppi d'Alta Frequenza possono prevedere la ricezione di gamme di diversa estensione. Ad esempio, alcuni gruppi sono provvisti di una sola gamma di onde corte da 25 a 70 m, altri ancora da 15 a 65 m, etc. Vi sono poi ricevitori provvisti di più gamme di onde corte: si comprende quindi come non si possano dare a priori indicazioni circa la frequenza di taratura.

2) Nella maggior parte dei gruppi A.F. le gamme delle Onde Corte sono ricevute mediante bobine sprovviste di nucleo variabile in ferrite. In tal caso, la taratura consiste nell'accordo su una frequenza centrale della gamma, ottenuto agendo sui soli compensatori.

Sulle Onde Corte è possibile, particolarmente nei circuiti ad Alta Frequenza, che la frequenza dell'oscillatore locale venga allineata in modo che risulti superiore o inferiore a quella del segnale ricevuto. Si verifica cioè, in ampia misura, il fenomeno della frequenza immagine, cui abbiamo già accennato nella lezione teorica sulla supereterodina. Come si ricorda, la distanza tra la frequenza esatta e la sua immagine è pari al doppio del valore della Media Frequenza, ossia 0,9 MHz circa; poichè si tratta di una parte cospicua della gamma, già molto estesa sulla scala del ricevitore, il fenomeno riveste una importanza notevole. Inoltre, se la frequenza dell'oscillatore è più bassa di quella del segnale entrante, mentre secondo la tabella di taratura del ricevitore dovrebbe essere più alta, il ricevitore opererà in modo normale sul lato più alto della gamma, ma l'accordo scalare non sarà regolare all'estremo basso.

Per ovviare a questo inconveniente, occorre regolare con molta cura i compensatori dell'oscillatore durante l'allineamento. Variare la sua frequenza e vedere se si incontrano due posizioni in cui il livello d'uscita è eguale. Poichè, di norma l'oscillatore deve essere accordato su una frequenza più alta di quella del segnale entrante, si dovrà allineare il circuito col valore minimo, tra i due possibili, della capacità di accordo dei compensatori di regolazione.

In molti casi, trattandosi di gruppi, le gamme O.C. sono separate. E' importante ricordare che, quando i compensatori sono disposti in parallelo al condensatore variabile, e quindi hanno effetto tanto sulla gamma delle O.M. che su quelle delle O.C., devono venire regolati per la sola gamma delle O.M. e poi non venire più toccati, vale a dire che, sulle gamme O.C. non si deve agire su di essi.

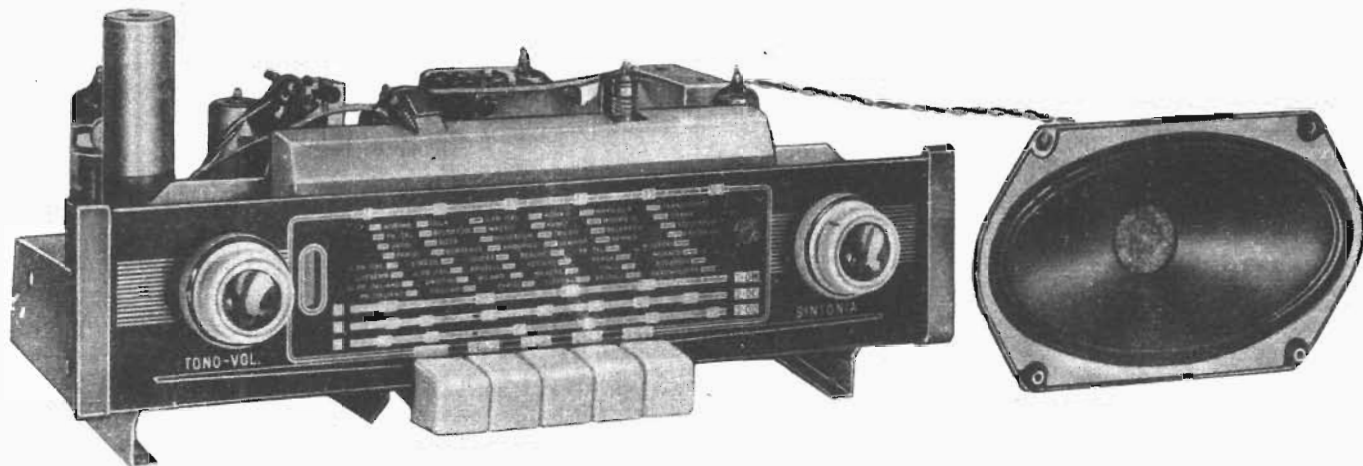
Casi particolari

Per la taratura delle Onde Medie abbiamo indicato le frequenze di 600 kHz e 1.200 kHz. Questi, sono effettivamente i valori più usati; però, può talora accadere che alcuni generatori di laboratorio a frequenza fissa portino indicate frequenze di taratura diverse, ad esempio 550 kHz e 1.400 kHz. In tal caso bisogna, naturalmente, eseguire le operazioni così come le abbiamo indicate, ma lavorando alle frequenze consigliate dal costruttore.

Può altresì capitare di incontrare ricevitori con ricezione Onde Medie suddivisa in due gamme. Se la divisione è ottenuta con circuiti di accordo e di oscillatore separati, l'allineamento non presenta particolari difficoltà, bastando ripetere, alle frequenze appropriate, le operazioni solite. Se invece, i circuiti delle due gamme sono interdipendenti, l'allineamento può presentare per il principiante notevoli difficoltà, poichè non esistono regole generali, e bisogna ricorrere, per ogni singolo modello, alle istruzioni della ditta costruttrice, di solito allegate allo schema dell'apparecchio.

Le stesse considerazioni valgono per i ricevitori con circuiti a « permeabilità variabile ». In alcuni casi sono sempre presenti i compensatori ed i nuclei regolabili, e si può procedere nel solito modo, mentre in altri mancano i nuclei di taratura, sostituiti totalmente da quelli di sintonia, ed occorre, per poter eseguire un buon lavoro, conoscere le prescrizioni del costruttore.

COSTRUZIONE di un RICEVITORE SUPERETERODINA *per O. Medie e Corte*

Iª PARTE: DESCRIZIONE e COSTRUZIONE

Come il lettore avrà potuto constatare nello studio fino ad ora svolto sui vari circuiti e sulle caratteristiche generiche di un ricevitore supereterodina, in linea di massima questo tipo di ricevitore consta di uno stadio convertitore, di una sezione nella quale avviene la amplificazione del segnale di Media Frequenza, di uno stadio rivelatore, di una sezione di amplificazione a Bassa Frequenza, e di un alimentatore.

Tutte le sezioni citate sono state analizzate — riteniamo — esaurientemente: sappiamo quindi che ciò che può differenziare un ricevitore da un altro non può essere che il modo con cui i vari compiti vengono assolti nelle rispettive sezioni.

Il ricevitore modello G-334, che qui presentiamo, è sostanzialmente analogo a quello descritto alla lezione 71ª: ciò è vero in quanto il numero degli stadi è praticamente il medesimo. Anche la potenza d'uscita, nonchè la qualità della riproduzione sonora consentita, sono pressochè eguali. Esso, tuttavia, si differenzia dal modello G-335 per vari motivi che ora analizzeremo dettagliatamente.

Mentre il primo apparecchio poteva essere considerato — come si è detto — quasi alla stregua di un apparecchio portatile, col vantaggio però di una alimentazione molto economica ad opera della corrente alternata, e di una migliore riproduzione grazie alle dimensioni del mobile e dell'altoparlante, il modello G-334 presenta caratteristiche di ricevitore più completo, sia per l'aggiunta di particolari perfezionamenti che rendono più comodo l'impiego, sia per la presenza di due ulteriori gamme di ricezione. Le caratteristiche citate, lo rendono perciò perfettamente adatto ai casi in cui si desidera disporre di un apparecchio che, pur essendo di costo limitato, presenti quasi tutti i vantaggi degli apparecchi più costosi e complessi.

Potrà sorgere il problema della scelta, nel senso che potrà senz'altro sembrare preferibile la costruzione di quest'ultimo nei confronti del primo. Ciò è subordinato esclusivamente alle esigenze del lettore, nonchè alla capacità che egli ritiene di aver potuto acquisire durante lo svolgimento del Corso.

Dal punto di vista didattico, è indubbio che la costruzione del primo apparecchio — mettendo, per la prima volta, il lettore di fronte ad un ricevitore del tipo commerciale, con difficoltà costruttive relativamente limitate, grazie alla semplicità dell'intero circuito — risulti preferibile. Una volta acquisito tutto il corredo di esperienza necessario per la costruzione e messa a punto di tale apparecchio, sarebbe certamente più facile la costruzione e la messa a punto di un apparecchio leggermente più complesso, qual'è il G-334. In pratica, ponendo la dovuta attenzione, si può anche iniziare con questo secondo ricevitore: sia nell'uno che nell'altro caso, ad apparecchio realizzato si sarà fatto un passo avanti di notevole importanza agli effetti dello svolgimento del programma futuro.

Data l'analogia tra i due circuiti e tra le relative caratteristiche, consigliamo al lettore che intendesse costruire soltanto questo secondo ricevitore, di leggere attentamente anche la descrizione del primo; in essa troverà molte indicazioni preziose anche in questo caso, indicazioni che non sono state qui riportate onde evitare inutili ripetizioni.

Lo SCHEMA ELETTRICO

La caratteristica più saliente di questo ricevitore nei confronti dell'altro è il fatto che esso consente la ricezione di un rilevante numero di emittenti nelle gamme delle Onde Corte. Questa importante prerogativa è dovuta all'impiego di un « gruppo » di Alta

Frequenza in sostituzione delle semplici bobine DX e QB adottate nell'apparecchio precedentemente descritto.

Come si nota osservando il circuito elettrico illustrato alla **figura 1**, la valvola convertitrice — che in questo caso è un triodo-esodo — è collegata al gruppo di Alta Frequenza, il quale costituisce una unità — ossia un componente — a sè stante. Questo gruppo, progettato per consentire la ricezione di tutta la gamma delle Onde Medie (da 180 a 500 metri), e di due gamme di Onde Corte (O.C. 1, da 25 a 70 metri e O.C. 2 da 65 a 185 metri) consta complessivamente di 8 induttanze, commutabili in tre diverse combinazioni corrispondenti alle tre gamme di ricezione citate, ad opera di un commutatore. Sebbene le gamme siano solo tre, le posizioni del commutatore sono quattro in quanto è prevista una posizione che esclude il gruppo di Alta Frequenza, e predispone parte del ricevitore al funzionamento come amplificatore di Bassa Frequenza. A tale scopo — infatti — la presa «fono» viene automaticamente inserita all'ingresso della sezione di Bassa Frequenza mentre, contemporaneamente. il collegamento di antenna viene connesso a massa. E' questa una misura precauzionale che evita di udire la stazione locale unitamente alla riproduzione del disco, ciò che può accadere altrimenti, se l'apparecchio viene fatto funzionare in prossimità di una emittente di notevole potenza. In tal caso, se il collegamento a massa non venisse effettuato, il segnale a radiofrequenza potrebbe raggiungere la griglia della valvola preamplificatrice di Bassa Frequenza, essere rivelato e — successivamente — amplificato e riprodotto.

Il collegamento della presa «fono» così come attuato costituisce perciò un notevole vantaggio nei confronti del ricevitore precedentemente descritto, in quanto mentre nel primo — per l'eventuale riproduzione di un disco — è necesssario dissintonizzare il ricevitore, (ossia portare l'indice della scala in una posizione nella quale non si abbia la ricezione di alcuna emittente) in questo caso, tale manovra non è più necessaria.

Il gruppo di Alta Frequenza — facilmente individuabile sullo schema in quanto racchiuso in un rettangolo disegnato a tratto più grosso — comprende tutti i componenti necessari per i circuiti di selezione di ingresso per i circuiti risonanti dell'oscillatore, (ed i collegamenti interni relativi) ad eccezione dei condensatori variabili. I valori dei singoli componenti non sono riportati in quanto il lettore che desidera effettuare la costruzione del ricevitore avrà a sua disposizione il gruppo già interamente montato. Egli dovrà, pertanto, limitare il suo intervento ai collegamenti esterni, a quelli cioè che allacciano il gruppo stesso allo stadio convertitore, alla presa «fono», al circuito C.A.V., nonchè alla presa di antenna.

Seguendo sul circuito elettrico i vari collegamenti, si nota che il segnale captato dall'antenna raggiunge il gruppo attraverso un condensatore da 5.000 pF. Per ragioni di semplicità si è disposto in modo che sul primario dei tre trasformatori di Alta Frequenza non avvenga alcuna commutazione.

Abbiamo visto — in altra occasione — per quale motivo sia opportuno adottare, specie per le Onde Corte, condensatori variabili divisi a sezioni, onde facilitare la sintonia col sistema detto ad «espansione di gamma». In questo apparecchio — tuttavia — pur avendosi un condensatore variabile le cui sezioni non sono a loro volta suddivise, il problema della facilità della manovra di sintonizzazione è stato risolto meccanicamente, ricorrendo ad un elevato rapporto di demoltiplicazione tra il condensatore variabile e la manopola di sintonia. Questo rapporto elevato fa sì che occorra una notevole rotazione della manopola per determinare una piccola variazione della frequenza di accordo, a tutto vantaggio di una comoda ricerca delle emittenti, specie nei tratti della scala in cui le emittenti stesse sono — per così dire — affollate.

Altre importanti caratteristiche risiedono nel fatto che la commutazione di gamma e la predisposizione del «fono» avvengono ad opera di una comoda tastiera invece che di una comune manopola. La tastiera è congegnata in modo da convertire il moto che si determina agendo su di un tasto, in moto rotatorio dell'albero del commutatore. Si hanno quattro tasti per le quattro posizioni, ed un quinto che agisce sull'interruttore generale di accensione, in serie al collegamento di rete.

Le sigle riportate sui simboli delle valvole nel circuito elettrico sono doppie, in quanto due sono i tipi di valvola che possono essere adottati, indifferentemente, per ciascuna di esse.

Nel caso in cui fosse necessario sostituire una qualsiasi valvola, qualora l'identico tipo non fosse reperibile, si potrà senz'altro adottare la valvola corrispondente. Le sigle superiori sono riferite alla serie di valvole di tipo europeo, mentre le sigle inferiori sono riferite alla serie americana.

Come abbiamo detto, in linea di massima, il circuito vero e proprio è analogo a quello dell'apparecchio precedente: si nota, tuttavia, che il diodo rivelatore, che nel modello G-335 era abbinato al pentodo amplificatore di Media Frequenza, è qui unito invece, al triodo preamplificatore di Bassa Frequenza (12AV6). Inoltre, mentre nel primo apparecchio l'intera sezione di Bassa Frequenza consisteva in un'unica valvola (il triodo-pentodo UCL82), in questo caso il triodo preamplificatore ed il pentodo finale sono separati. Anche qui si rileva una leggera differenza rispetto al modello G-335: il pentodo finale della UCL82 consente una potenza d'uscita leggermente inferiore a quella che si può ottenere con il pentodo 35QL6 (o con l'equivalente 35D5).

Come si nota, la rettificazione della corrente alternata avviene mediante una valvola raddrizzatrice, (35A3 o 35X4), sempre su una sola semionda: è una soluzione che corrisponde perfettamente all'impiego di un raddrizzatore ad ossido. Anche in questo caso si ha un autotrasformatore di alimentazione, provvisto di un doppio cambio-tensioni, mediante il quale è possibile predisporre l'apparecchio per il funzionamento con qualsiasi tensione compresa tra 100 e 230 volt, quasi interamente con intervalli di 10 volt. I filamenti delle prime tre valvole sono in serie tra loro, come pure i filamenti della valvola finale e della raddrizzatrice.

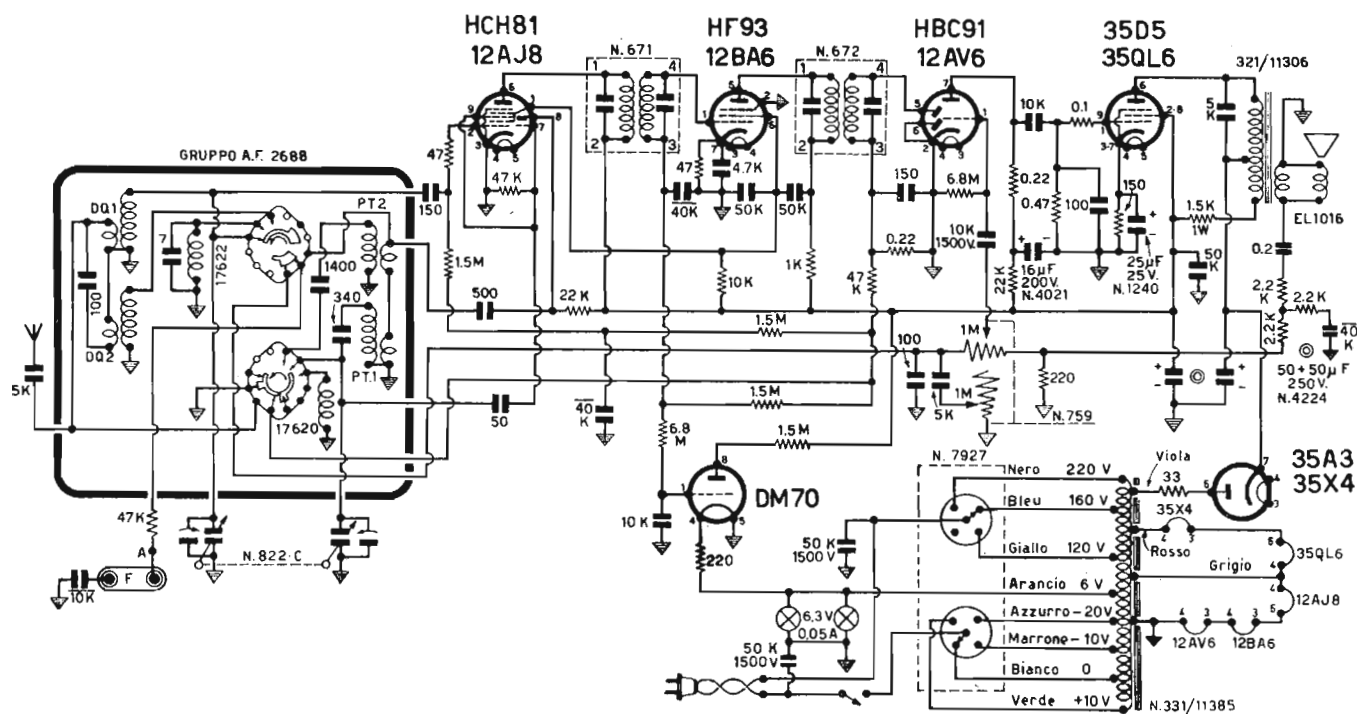



Figura 1 -
Circuito elettrico del ricevitore supereterodina Mod. G-334. Come si nota, sono riportati i valori di tutti i componenti, ad eccezione di quelli costituenti il gruppo di Alta Frequenza, che viene fornito già interamente montato. Consente la ricezione dell'intera gamma delle Onde Medie (da 180 a 500 metri), e di due gamme di Onde Corte (da 25 a 70 metri, e da 65 a 180 metri). La presa «fono» viene inserita mediante pressione su uno dei tasti del commutatore. L'esatta sintonia viene indicata da un «occhio elettrico».

ELENCO del MATERIALE

- 1 Telaio forato e cadmiato, completo di accessori . . . . . . N. 80179
- 1 Altoparlante ellittico N. EL1018
- 1 Tastiera con interruttore N. 181
- 1 Riflettore per scala parlante . . . . . N. 21114
- 1 Cristallo per scala parlante . . . . N. 1611/361
- 1 Gommino per scala 190 mm. . . . . . N. 74727
- 1 Indice per scala parlante . . . . N. 21113
- 1 Cordina con molla per indice . . . . —
- 2 Portalampadine per scala . . . . N. 1721
- 2 Lampadine per scala 6 V. 0,05 A. . . . . —
- 1 Autotrasformatore di alimentazione N. 331/11385
- 1 Trasformatore d'uscita N. 321/11306
- 1 Gruppo di Alta Frequenza a 3 gamme N. 2688
- 1 Condensatore variabile da 2 × 330 pF . . N. 822/C
- 1 Trasformatore di Media Frequenza . . . . N. 671
- 1 Trasformatore di Media Frequenza . . . . N. 672
- 1 Carrucola per condensatore variabile . . N. 74853
- 1 Potenziometro doppio da 1 MΩ + 1 MΩ N. 759
- 1 Cambio-tensioni, avorio N. 7927
- 1 Presa « fono » avorio N. . . . 1040 B (74225)
- 1 Terminale antenna con filo e clips . . . N. 80153
- 1 Fissacavo per cordone rete . . . . N. 20851
- 1 Supporto per DM70 N. 74689
- 1 Cordone con spina bianca . . . . —
- 2 Manopole colore avorio N. 74848 (8034)
- 1 Manopola colore avorio N. . . . 74849 (8035)
- 1 Manopola colore avorio N. 74850 (8035)
- 2 Zoccoli per valvole noval N. 461
- 3 Zoccoli per valvole miniatura . . . . N. 468
- 1 Schermo per valvola N. . . . 21120 (580/45)
- 1 Ancoraggio a 5 posti N. 80075/5
- 1 Ancoraggio a 7 posti N. 80075/7A
- 2 Ancoraggi a 14 posti N. 80149
- 1 Ancoraggio a 7 posti, piegato . . . . N. 80075/7P
- 1 Terminale di massa, multiplo . . . . . . N. 1346
- 3 Terminali di massa, semplici . . . . . N. 3650/A
- 6 Viti da 1/8" x 6 N. 4274
- 4 Viti da 5/32" x 20 N. 4311
- 3 Ranelle 1/8" N. 4830
- 4 Ranelle Grower 1/8" N. 5006
- 2 Viti da 5/32" Nylon N. 4541
- 3 Dadi da 1/8" N. 4607
- 12 Occhielli per fissaggio
- — Cavetto schermato a due conduttori, cm. 60 N. 5220
- — Filo per connessioni, m. 2
- — Tubetto sterling, ∅ = 4 mm cm 30
- — Tubetto sterling, ∅ = 10 mm cm 7
- — Stagno preparato gr. 30
- 1 Condensatore a carta 1500 V 10.000 pF
- 3 Condensatori a carta 1000 V 50.000 pF
- 1 Condensatore a carta 1000 V 10.000 pF
- 3 Condensatori a carta 1000 V 5.000 pF
- 2 Condensatori a carta 1500 V 50.000 pF
- 2 Condensatori a carta 400 V 10.000 pF
- 3 Condensatori a carta 50 V 40.000 pF
- 1 Condensatore a carta 150 V 250.000 pF
- 1 Condensatore a mica 500 pF
- 2 Condensatori a mica 100 pF
- 2 Condensatori a mica 150 pF
- 1 Condensatore ceramico 4.700 pF
- 1 Condensatore elettrolitico N. 4224
- 1 Condensatore elettrolitico N. 1240
- 1 Condensatore elettrolitico N. 4021
- 1 Resistenza chimica 1 W 1,5 kΩ
- 1 Resistenza chimica 1 W 33 Ω
- 1 Resistenza chimica 1 W 47 kΩ
- 1 Resistenza chimica 1 W 150 Ω
- 2 Resistenze chimiche 1 W 22 kΩ
- 2 Resistenze chimiche 1 W 220 kΩ
- 2 Resistenze chimiche 1 W 6,8 MΩ
- 1 Resistenza chimica 1 W 1,5 MΩ
- 2 Resistenze chimiche 1 W 220 Ω
- 1 Resistenza chimica 1 W 10 kΩ
- 2 Resistenze chimiche 1 W 470 kΩ
- 3 Resistenze chimiche 1/8 W 2,2 kΩ
- 1 Resistenza chimica 1/8 W 100 kΩ
- 1 Resistenza chimica 1/8 W 1 kΩ
- 2 Resistenze chimiche 1/8 W 4,7 kΩ
- 2 Resistenze chimiche 1/8 W 4,7 Ω
- 3 Resistenze chimiche 1/8 W 1,5 MΩ

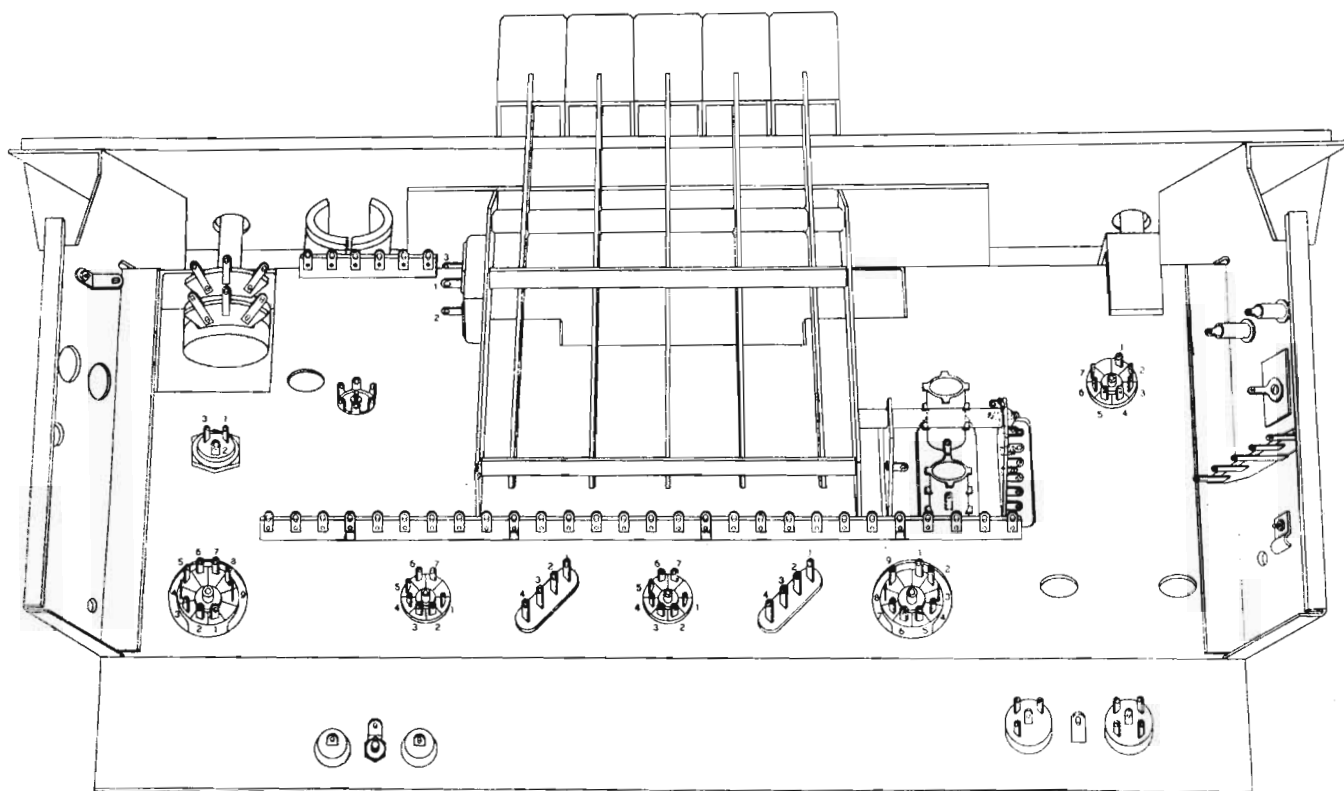



Fig. 2 - Aspetto del telaio, visto dal di sotto, dopo l'applicazione di alcuni componenti meccanici (basette di ancoraggio, contatti di massa, zoccoli portavalvola, presa fono, cambio-tensioni, presa di rete, attacco di antenna, doppio potenziometro e supporto dell'occhio elettrico). Il doppio potenziometro è disposto in modo tale che la parte anteriore serve per la regolazione del tono, mentre quella posteriore serve per la regolazione del volume. Si noti la posizione del gruppo di Alta Frequenza, e l'orientamento degli zoccoli.

La manovra di sintonia, già notevolmente facilitata — ripetiamo — grazie al notevole rapporto di demoltiplicazione della scala parlante, è resa ancor più agevole dalla presenza di un moderno occhio elettrico (valvola DM70), la cui indicazione è di grande utilità per accertare che l'indice della scala si trovi nel punto di migliore ricezione di ogni singola stazione, sì da sfruttare completamente le caratteristiche di selettività e di fedeltà del ricevitore. Il filamento di questa valvola è alimentato, previa caduta di tensione tramite una resistenza da 220 ohm, da una tensione di 6 volt, prelevata dall'autotrasformatore unitamente alla eguale tensione che alimenta le lampadine per l'illuminazione della scala. La placca è connessa — attraverso una resistenza di carico del valore di 1,5 Mohm — alla linea positiva dell'alimentazione anodica, mentre la griglia viene polarizzata dalla medesima tensione fornita dal circuito del C.A.V. Come sappiamo, tale tensione è tanto maggiore quanto maggiore è l'intensità del segnale rivelato. Di conseguenza, le variazioni di detto segnale (ulteriormente filtrato prima dell'applicazione all'occhio elettrico) influiscono sulla corrente anodica della valvola DM70, variando la larghezza della zona d'ombra che si presenta sullo schermo fluorescente.

Allorchè la zona d'ombra assume la minima larghezza, ciò significa che l'ampiezza del segnale è massima. e che — di conseguenza — la sintonia sulla emittente ricevuta è esatta.

IL MONTAGGIO

Anche per quanto riguarda le operazioni di montaggio, sia dal punto di vista meccanico, ossia dell'allestimento della chassis e del fissaggio delle varie parti. che da quello elettrico, ossia della posa dei vari collegamenti tra i componenti stessi, rimandiamo il lettore alla lettura dell'omonimo paragrafo pubblicato nella lezione 71ª. Infatti, sono in esso riportate numerose indicazioni che si adattano perfettamente anche in questo caso, e che sarebbe inutile elencare una seconda volta. Alcune di tali indicazioni possono in realtà essere considerate generiche, in quanto si addicono alla realizzazione di qualsiasi apparecchiatura elettronica. Inoltre, il lettore che ci ha seguiti fin qui, ha già avuto varie occasioni di conoscere dettagliatamente la procedura opportuna da adottare allorchè si costruisce un apparecchio.

Ci limiteremo ad enumerare e a descrivere le sole operazioni che riguardano questo montaggio in modo particolare. Si tenga comunque presente che, anche se l'apparecchio qui descritto non viene realizzato, la lettura di queste note è sempre particolarmente utile, perchè gli argomenti considerati permettono di vedere tradotti in pratica tutti gli accorgimenti costruttivi del caso, derivanti dall'applicazione della teoria e dalla esperienza.

La **figura 2** illustra lo chassis predisposto per l'inizio della posa dei collegamenti, visto dal di sotto. E'

Fig. 3 - Disegno di assieme dell'apparecchio, visto dal di sotto, dopo il montaggio dei componenti la cui posizione è più vicina al piano interno dello chassis. Questa illustrazione consente di stabilire con esattezza la posizione di quei componenti che, a montaggio ultimato, restano nascosti totalmente o in parte da altri di maggiori dimensioni ad essi sovrapposti. I collegamenti sono contraddistinti dal disegno di una particolare zigrinatura, che ne facilita il riconoscimento: ciò permette di seguirne il percorso senza tema di errori. I colori dei collegamenti al cambio-tensioni sono dettagliati sullo schema, e devono essere rigorosamente rispettati.

Per maggiore semplicità, è stato omesso in questo disegno il congegno delle leve azionate dal comando a tastiera. Esso comunque non comporta difficoltà di montaggio in quanto viene fornito già interamente montato. Uno dei supporti delle bobine del gruppo è stato del pari omesso per consentire la visibilità della parte interna del gruppo stesso. Si noti la disposizione dei vari componenti, che deve essere il più possibile rispettata. In caso contrario, si corre il rischio di determinare accoppiamenti non desiderati, che possono essere causa di oscillazioni, la cui provenienza non è facile a determinarsi. Si veda anche la figura sucessiva.

Fig. 4 - Aspetto dell'apparecchio, interamente montato, visto dal di sotto. In questo disegno — a differenza di quello precedente — figurano anche quei componenti che, con la loro presenza, ne nascondono altri installati in prossimità del piano del telaio. L'intero montaggio è stato studiato razionalmente, affinché tutti i punti del circuito siano perfettamente accessibili, sia per effettuare i controlli e le misure in fase di collaudo, sia per facilitare la sostituzione di uno o più componenti nel caso che, dopo un certo periodo di uso, si renda necessaria una riparazione.

Come si nota, dei sei collegamenti che sporgono dalla parte inferiore del bulbo di vetro dell'occhio elettrico, solo quattro vengono utilizzati. Se esso è inserito nel suo supporto di plastica, dietro alla scala, in modo che lo schermo fluorescente sia ben visibile dall'esterno, non sussistono possibilità di dubbio circa la disposizione dei collegamenti. In tutto il circuito esistono complessivamente nove punti di collegamento a massa, di cui quattro sulla lunga basetta di ancoraggio e cinque distribuiti sulla superficie interna del telaio. Per i trasformatori di M. F. i contatti 1 e 2 corrispondono al primario, 3 e 4 al secondario.

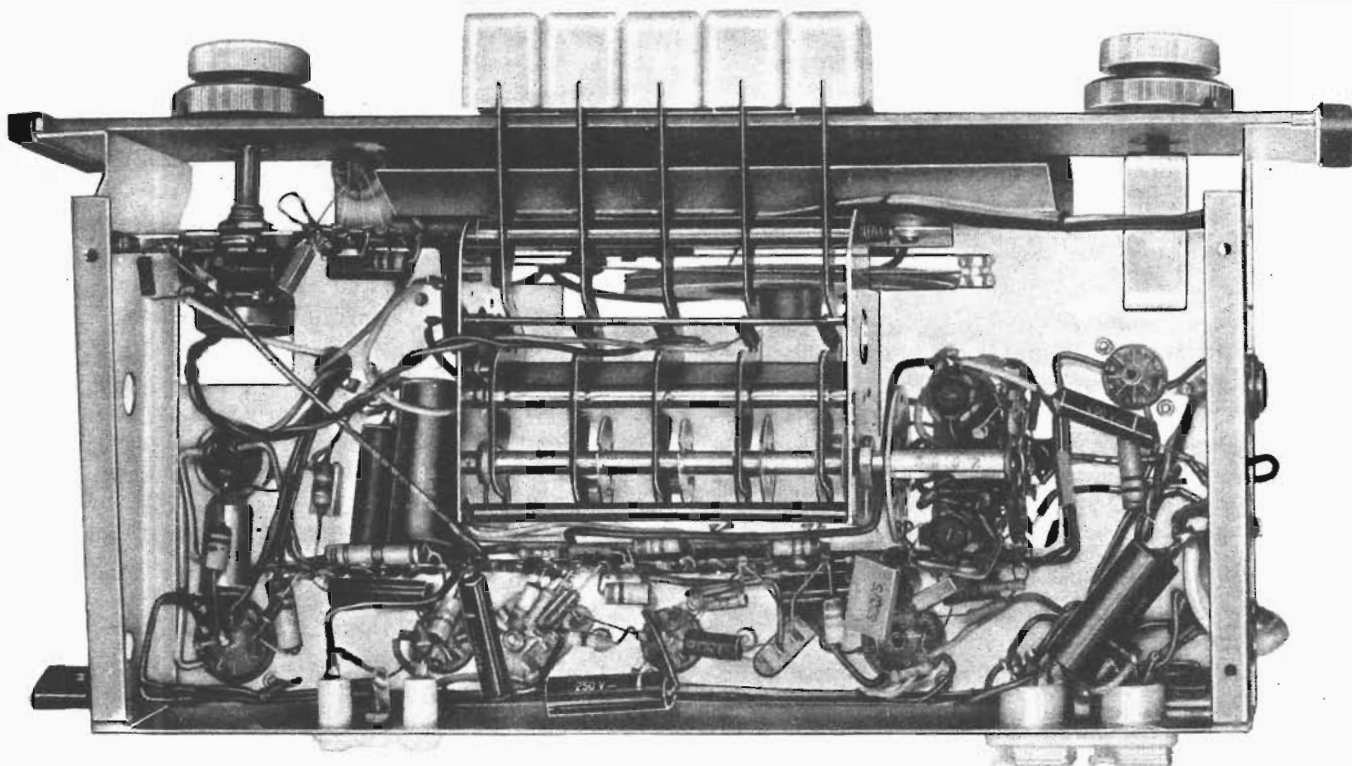



Fig. 5 - Fotografia dell'apparecchio interamente montato, visto dal di sotto. Con l'ausilio di questa illustrazione, è facilitato al lettore il compito di riconoscere i diversi componenti, che qui figurano nel loro aspetto reale, e che sono invece schematizzati nei disegni delle figure 3 e 4. L'interruttore di accensione, azionato dal primo tasto a sinistra, è visibile di scorcio a sinistra del supporto delle leve. Il collegamento che attraversa diagonalmente il telaio, e che è teso tra il cursore del potenziometro di volume e la basetta di ancoraggio centrale, è un cavetto intorno al quale è avvolta una piattina metallica (cavetto schermato): la schermatura evita la presenza di rumore di fondo.

facile riconoscere lungo la fiancata superiore (corrispondente alla parte anteriore dell'apparecchio) ed a partire da sinistra, il doppio potenziometro ad alberi coassiali: la sezione anteriore (quella cioè più prossima al cristallo) provvede alla regolazione del tono, mentre quella posteriore (verso l'interno dello chassis), agisce da controllo del volume. La manopola che aziona questi potenziometri consta di due bottoni sovrapposti, di cui quello di diametro maggiore agisce sul controllo di tono, e quello di diametro minore sul controllo di volume.

Proseguendo verso destra notiamo il supporto di materia plastica, nel quale deve essere inserito l'occhio elettrico (valvola DM70), in modo che lo schermo fluorescente compaia nell'apposita finestra trasparente ricavata sul cristallo della scala. A destra ancora, si nota il complesso delle leve azionate dalla tastiera che, come si vede nella foto riportata all'inizio di questa lezione, è applicata anteriormente, sotto alla scala stessa. A lato del supporto delle leve (sempre a destra), è fissato il gruppo di Alta Frequenza.

Come si è detto, quest'ultimo viene fornito già montato e collaudato, per cui non rimane al lettore che effettuare i vari collegamenti esterni: si dovrà agire, come si vedrà, sui nuclei delle varie bobine per eseguire l'allineamento.

Sulla fiancata destra si nota, proseguendo verso il basso, una presa bipolare che rende disponibile la tensione di rete per il collegamento eventuale di un motorino giradischi: immediatamente dopo è installata la presa di antenna, seguita da una basetta di ancoraggio a 5 posti, di cui quello centrale è saldato direttamente a massa.

Sulla fiancata posteriore (in basso, nel disegno), notiamo il doppio cambio-tensioni. E' facile constatare, controllando lo schema, che quello a tre contatti più uno centrale (a sinistra), serve per la commutazione tra 120, 160 e 220 volt, mentre quello a quattro contatti, più contatto comune, viene utilizzato per la commutazione tra le prese dell'autotrasformatore corrispondenti a +10, 0, —10 e —20 volt.

Sulla medesima fiancata, verso l'estrema sinistra, viene installata la presa « fono », la cui vite centrale di fissaggio trattiene anche una paglietta opportunamente sfruttata come contatto di massa.

Sulla fiancata sinistra è presente una sola vite, che trattiene anch'essa una paglietta di massa.

Il piano vero e proprio del telaio agisce — ovviamente — da supporto della maggior parte dei componenti. Il trasformatore viene fissato in prossimità del doppio cambio-tensioni, usufruendo degli appositi fori — visibili sul disegno — per il passaggio dei diversi conduttori. I conduttori relativi sono colorati diversamente tra loro, come da schema.

I vari zoccoli portavalvola ed i trasformatori di Media Frequenza verranno anch'essi fissati al telaio, rispettando l'orientamento indicato nella figura 2. In essa, si nota anche un lunga basetta isolante, provvista di 28 pagliette, quattro delle quali sono collegate direttamente a massa, (la quarta, la undicesima, la diciottesima, e la venticinquesima, da sinistra). Il condensatore variabile, la scala parlante, la relativa funi-

cella ed indice, ed il trasformatore d'uscita, verranno installati nel modo analogo a quello descritto nei confronti del Modello G-335. E' però importante notare che il foro, visibile nel disegno, presente sul piano del telaio in prossimità del doppio potenziometro e di una paglietta di massa del tipo a « stella », serve per l'installazione del condensatore elettrolitico tubolare da 50 + 50 μF.

Una volta predisposti i vari componenti meccanici, si può iniziare l'applicazione dei diversi collegamenti. Circa la procedura da seguire, non abbiamo molto da aggiungere a quanto detto nelle precedenti occasioni. Supponiamo che — a questo punto — il lettore sia sufficientemente edotto per quanto riguarda le esigenze di cui occorre tener conto nell'effettuare le saldature, nonchè nel criterio da seguire nell'ordine dei collegamenti.

Data la relativa complessità di questo apparecchio, non sarebbe stato di grande aiuto il solo disegno del circuito interamente montato, soprattutto per il fatto che alcuni componenti — ci riferiamo in modo particolare ad alcuni condensatori di dimensioni notevoli — nascondono con la loro presenza altre parti importanti di cui è bene che il lettore conosca l'esatta posizione. Per questo motivo le operazioni di collegamento sono state illustrate in due fasi.

La **figura 3** illustra la prima fase. In essa sono stati riportati gran parte dei collegamenti, e tutti quei componenti che vengono in seguito nascosti per la sovrapposizione di altri. Sebbene non sia possibile elencare dettagliatamente le singole operazioni, riteniamo tuttavia che — con l'aiuto del circuito elettrico e dei disegni costruttivi — il lettore non trovi difficoltà nell'individuare i vari componenti e nell'installarli nel modo corretto.

Anche in questo caso rammentiamo che, per gli allacciamenti tra l'autotrasformatore ed il doppio cambio-tensioni, è assolutamente indispensabile rispettare rigorosamente i colori riportati sullo schema. Unitamente a questi ultimi, sono riportati anche i valori di tensione corrispondenti alle varie prese. Osservando quindi quali sono i contatti metallici che corrispondono alle diverse tensioni riportate sulla superficie esterna dei due cambi-tensioni, non deve sussistere alcuna possibilità di errore. Gli altri colori indicati devono essere invece considerati orientativi. A tale scopo, nel disegno, i conduttori contrassegnati da un medesimo colore, e che quindi fanno capo direttamente l'uno con l'altro, sono stati raffigurati ciascuno con una zigrinatura particolare, che permette di rintracciarli con una certa facilità.

Per maggiore chiarezza, è stata omessa in questa figura una delle bobine del gruppo di Alta Frequenza. Ciò consente infatti di vedere alcuni dei collegamenti interni del gruppo, e facilita il riconoscimento degli altri.

La **figura 4** illustra invece l'apparecchio interamente montato, con tutti i suoi componenti. L'attento esame di questa illustrazione mette in evidenza un particolare della tecnica di « cablaggio » cui non abbiamo ancora avuto occasione di accennare. Sia in passato — quando cioè le dimensioni dei componenti erano notevoli — che attualmente, col vantaggio di impiegare componenti pressochè miniaturizzati, nell'eseguire un montaggio si è sempre cercato di ottenere — alla fine — un telaio accessibile in tutti i punti. Ciò è richiesto per vari motivi: innanzitutto, terminate tutte le operazioni è necessario un accurato controllo dei circuiti, per cui lo schema deve poter essere seguito nell'apparecchio montato. Oltre a questo, in fase di collaudo o di una eventuale riparazione, può rendersi necessaria la sostituzione di uno o più componenti. A causa di ciò è sempre bene che ciascuno di essi sia perfettamente accessibile, e che, tranne casi particolari nei quali si fa la massima economia di spazio, sia possibile la sostituzione senza dovere, per questo, asportare provvisoriamente altri componenti. Per tale motivo — come si nota osservando la figura — i collegamenti, i condensatori e le resistenze vengono distribuiti nello spazio disponibile sulla superficie interna del telaio, in ordine — per così dire — sparso, evitando, ovunque sia possibile accavallamenti e sovrapposizioni. Agli effetti delle eventuali operazioni successive, ciò semplifica molto le cose, in quanto gli zoccoli delle valvole sono completamente accessibili inferiormente, col risultato che la misura delle tensioni ai vari piedini risulta notevolmente facilitata. In secondo luogo — come in altra occasione abbiamo detto — è sempre necessario evitare rigorosamente qualsiasi possibilità di accoppiamento, sia induttivo che capacitivo, tra i circuiti di ingresso e di uscita di uno stadio, o tra uno stadio e quello successivo. A tale scopo, si cerca sempre di tenere tra loro distanti i componenti tra i quali potrebbero verificarsi accoppiamenti dannosi; nella eventualità che ciò risulti assolutamente impossibile, si cerca sempre di fare in modo che due conduttori percorsi da segnale si incrocino perpendicolarmente, evitando che rimangano tesi parallelamente per un certo tratto.

Dal momento che il piano del telaio, data la sua massa metallica, esercita un'azione — per così dire — di assorbimento nei confronti dei campi magnetici ed elettrostatici circostanti, i componenti ad esso prossimi risultano praticamente schermati almeno da un lato. Anche questo fatto contribuisce ad evitare accoppiamenti parassiti, che potrebbero esser causa di oscillazioni indesiderate. Ove queste si verifichino, è quasi sempre necessario ricercarne la causa nella disposizione dei componenti, ed individuare quale — tra essi — è responsabile del fenomeno.

A completamento della figura 3 e 4 ora citate, la **figura 5** rappresenta con vera e propria fotografia, lo apparecchio montato, visto dal di sotto. Sebbene essa sia — in realtà — una ripetizione della figura 4, può tuttavia dimostrare la sua utilità sia per riconoscere l'aspetto di alcuni componenti, qui visibili nella loro forma effettiva e non schematizzata, sia per controllare eventuali particolari del montaggio che non fosse stato possibile rendere con sufficiente chiarezza nel disegno.

Nella lezione che segue tratteremo del collaudo e della taratura.

DOMANDE sulle LEZIONI 73ª e 74ª

N. 1 —
Cosa si intende per allineamento in un ricevitore supereterodina?

N. 2 —
Quando è necessario eseguire un riallineamento di un ricevitore supereterodina?

N. 3 —
Con quali strumenti deve essere eseguito l'allineamento di un ricevitore supereterodina?

N. 4 —
In quali punti può essere collegato il misuratore di uscita?
Quali devono essere — di massima — le portate a fondo scala dello strumento?

N. 5 —
Cosa si intende per antenna artificiale? Qual'è il suo scopo?

N. 6 —
In cosa consiste un oscillatore per l'allineamento dei ricevitori supereterodina?

N. 7 —
Da quali stadi si inizia l'allineamento ed in quale senso esso deve essere effettuato nei confronti del percorso del segnale?

N. 8 —
Quali frequenze deve fornire l'oscillatore per l'allineamento dei vari circuiti accordati di un ricevitore supereterodina?

N. 9 —
Cosa si intende per espansione di gamma?

N. 10 —
In quali gamme di frequenze l'impiego della espansione di gamma risulta più opportuno?

N. 11 —
Durante l'allineamento delle gamme O.C. è possibile ottenere un battimento a M.F. tra il segnale dell'oscillatore locale e quello del generatore per due diverse posizioni del «trimmer» dell'oscillatore locale. Quale posizione deve essere scelta e perchè?

N. 12 —
Durante l'allineamento il C.A.V. deve funzionare?

N. 13 —
Allo scopo di potere apprezzare variazioni anche minime dell'uscita del ricevitore, in quale posizione deve portarsi l'indice del misuratore di uscita?

N. 14 —
Affinchè l'indice del misuratore di uscita sia nella posizione corretta come debbono essere regolati il potenziometro del volume del ricevitore e l'attenuatore dell'oscillatore modulato?

N. 15 —
Quali precauzioni debbono essere prese per l'allineamento dei ricevitori con chassis collegato a rete?

N. 16 —
Durante l'allineamento, quale deve essere la posizione dell'operatore e di eventuali masse metalliche nei riguardi dei circuiti ad Alta Frequenza non schermati?

RISPOSTE alle DOMANDE di Pag.569

N. 1 — La conversione di tutte le frequenze ricevute in un'unica frequenza più bassa (M. F.), a vantaggio sia dell'amplificazione che della selettività.

N. 2 — Quattro: il segnale in arrivo, quello dell'oscillatore, nonchè la somma e la differenza tra i due.

N. 3 — La ricezione di un segnale indesiderato, di frequenza pari a quella di sintonia più il doppio della M.F.

N. 4 — La selettività, l'amplificazione, nonchè la riduzione della probabilità che si manifesti l'interferenza di immagine.

N. 5 — La frequenza in corrispondenza della quale si verifica l'interferenza di immagine è di 1.670 kHz, pari a 760 + 2(455).

N. 6 — Quello di diminuire la capacità del condensatore di sintonia dell'oscillatore. In tal modo quest'ultimo può produrre una frequenza pari a quella del segnale in arrivo sommata al valore della M.F.

N. 7 — Attraverso la corrente elettronica della valvola.

N. 8 — Per consentire una maggiore stabilità dello oscillatore locale. In altre parole, per rimediare alla sua tendenza ad entrare in sincronismo con la frequenza del segnale in arrivo dall'antenna.

N. 9 — Il rapporto tra l'ampiezza del segnale a M.F. presente in uscita, e quella del segnale in arrivo.

N. 10 — Grazie alla sua maggiore linearità, ed al fatto che può rivelare segnali di notevole ampiezza senza pericolo di sovraccarico.

N. 11 — Il C.A.V. normale attenua tutti i segnali, qualunque sia la loro ampiezza. Il C.A.V. ritardato funziona soltanto con i segnali di maggiore intensità.

N. 12 — Lo stadio convertitore (oscillatore e mescolatore) quello di amplificazione a Media Frequenza, lo stadio rivelatore e lo stadio finale. Facoltativi sono quello di amplificazione in A.F. e gli stadi supplementari in M.F. ed in B.F.

N. 13 — Perchè il secondo diodo viene in tal caso impiegato per un secondo circuito di rivelazione, indipendentemente dal primo, che fornisce esclusivamente la tensione C.A.V.

N. 14 — Perchè — diversamente — la capacità del condensatore variabile dell'oscillatore, necessaria per coprire la gamma, risulterebbe eccessiva.

N. 15 — Perchè aumenta la differenza tra la frequenza di sintonia e quella interferente.

N. 16 — Poichè la rete è in contatto diretto col telaio attraverso l'autotrasformatore di alimentazione, essi isolano il cavo del braccio fonografico dalla rete stessa, pur consentendo il passaggio dei segnali B.F.

N. 17 — Cortocircuitare la componente a frequenza acustica che si manifesta unitamente alla tensione di polarizzazione.

N. 18 — Perchè in tal modo, l'avvolgimento viene percorso da due correnti opposte (la corrente anodica della valvola finale, e quella di schermo e di alimentazione degli altri stadi), i cui campi magnetici si elidono a vicenda evitando la saturazione del nucleo.

COSTRUZIONE di un RICEVITORE SUPERETERODINA *per O. Medie e Corte*

II^a PARTE: COLLAUDO e TARATURA

La accurata verifica dell'intero assieme dei collegamenti effettuati è l'abituale operazione precauzionale da eseguirsi in ogni caso, a lavoro finito. Ad essa segue sempre un primo controllo di massima sull'assenza di indesiderati cortocircuiti, attuato con l'ohmetro nei punti che tra loro devono presentare elevata resistenza, in particolare tra massa e conduttori o elettrodi connessi al positivo di alimentazione. La fase successiva può essere definita un vero e proprio collaudo, nel senso che ogni punto dell'apparecchio sottoposto a tensione deve essere esaminato per accertare il riscontro dei valori di tensione ivi presenti, con quelli previsti e consentiti.

CONTROLLO e COLLAUDO

Si predisponga il cambio-tensioni per la giusta tensione di rete disponibile. Con tutte le valvole inserite, si innesti la spina di rete (ci si ricordi sempre che un conduttore di rete è connesso direttamente allo chassis, per cui si eviti in modo assoluto di toccare questo ultimo con le mani), e si prema a fondo il tasto centrale: ciò equivale ad « accendere » il ricevitore, e nello stesso tempo a predisporlo per la ricezione delle Onde Medie. La corrispondenza dei singoli tasti è indicata sul cristallo della scala parlante. Poichè deve essere effettuato il controllo, lo chassis sarà stato preparato capovolto, vale a dire in modo tale che i puntali del « tester » possano accedere a qualunque piedino delle valvole. Trascorso il tempo necessario al riscaldamento dei catodi, sarà facile — se tutto è esatto — ruotando la manopola di sintonia, ottenere la ricezione di qualche emittente, data la preventiva taratura già subìta dalle parti presso la fabbrica. Questa prima prova di ascolto servirà semplicemente a tranquillizzare circa la giusta esecuzione dei collegamenti.

L'operazione seguente sarà quella di lettura delle tensioni. A questo scopo, valvola per valvola, si riscontreranno i diversi piedini col puntale « positivo » (mentre l'altro sarà posto in contatto con lo chassis), ad eccezione dei piedini ai quali è applicata corrente alternata (tutti i filamenti e placca della raddrizzatrice). Le tensioni dovranno corrispondere, con uno scarto massimo del 10%, a quelle riportate nell'apposita tabella pubblicata nella pagina a fianco. Se si noteranno in qualche punto, notevoli differenze, sarà opportuno, prima di procedere oltre, accertare la causa dell'anomalia: tale causa risiede quasi sempre in un collegamento errato.

MESSA a PUNTO E TARATURA

Anche qui, come per il ricevitore precedente, occorre distinguere tra il caso in cui si disponga della attrezzatura per la taratura ed il caso che essa manchi. Noi riteniamo che chi segue il Corso sia attrezzato o intenda attrezzarsi, perchè la disponibilità di un oscillatore modulato e di un « tester » (qui in funzione di voltmetro per alternata) può rendere molti servigi, anche ad un semplice radioamatore. A buon conto, può esservi chi desideri costruire una super del tipo da noi descritto senza ancora disporre del necessario per la taratura: diremo che, in tale contingenza, se pur non si può garantire che i risultati ottenuti siano i migliori raggiungibili, un discreto funzionamento può risultarne egualmente. Ciò dipende esclusivamente dalla pretaratura che i trasformatori di Media Frequenza ed il Gruppo hanno preventivamente avuto in sede di collaudo singolo.

Per chi dispone di un oscillatore modulato e di « tester » ecco la procedura.

Predisporre l'oscillatore in modo che generi un segnale di 467 kHz, che è il valore corrispondente a quello della Media Frequenza: il segnale deve essere modulato da una frequenza fissa, ciò che si ottiene a mezzo degli appositi comandi del generatore stesso che a questo scopo contiene un apposito stadio oscillatore di Bassa Frequenza. Generalmente questa frequenza di modulazione è di 400 Hertz.

Il generatore è sempre corredato di un cavetto di uscita del tipo schermato. La calza esterna va posta a massa, vale a dire serve a costituire il ritorno tra oscillatore modulato ed apparecchiatura da tarare unendo le masse degli stessi. Purtroppo però — come abbiamo più volte ripetuto — il telaio del nostro ricevitore è collegato alla rete in modo diretto: connettere la calza del cavetto dell'oscillatore al telaio significherebbe portare anche il generatore a diretto contatto con la rete, il che è assolutamente da evitare perchè pericoloso. Esiste, fortunatamente, una semplice soluzione: è sufficiente interporre un condensatore del valore di 5.000 o 10.000 pF, e si creerà un passaggio di così bassa impedenza capacitiva da non costituire ostacolo alcuno alle frequenze interessate, pur impedendo che l'operatore — manovrando i comandi dell'oscillatore — possa da essi ricevere la scossa, così come avverrebbe se esistesse un collegamento diretto. Il lato « caldo » del cavetto, cioè quello che reca il segnale, sarà connesso anch'esso a mezzo condensatore il cui scopo è di-

TABELLA delle TENSIONI

misurate con voltmetro a 20.000 ohm per volt

VALVOLA	FUNZIONE	Piedini zoccolo								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
12AJ8	Convertitrice	68	NM	0	36 CA	24 CA	128	—7*	64	—7*
12BA6	Amplif. M. F.	NM	0	38 CA	12 CA	120	68	NM	—	—
12AV6	Rivelatrice preamplif. BF	NC	0	12 CA	0	NM	0	68	—	—
35QL6	Amplificatrice finale B.F.	NC	128	8	36 CA	70 CA	156	NC	128	NM
35X4	Raddrizzatrice	NM	NC	72 CA	105 CA	160 CA	NC	164	—	—
DM 70	Indicat. di sin.	—	—	—	0,8	—	—	—	90	—

* Misure effettuate con voltmetro a valvola.

1° Condens. Elettrolitico = 164 V CC
2° » » = 128 V CC
3° » » = 120 V CC

Note: Misure effettuate con tensione di rete 160 V - 50 Hz e ricevitore funzionante in OM.
NM: non misurare; NC: non collegato.

verso dal precedente. Si tratta di fare in modo che il circuito d'uscita dell'oscillatore non « smorzi » come si suol dire, il circuito al quale viene ad essere collegato: se così fosse, potrebbero risultare tarature errate dato che, dopo il distacco dell'oscillatore, il circuito tarato verrebbe a trovarsi in condizioni diverse da quelle in cui si trovava durante la taratura, e quest'ultima risulterebbe falsata. Minore sarà la capacità di accoppiamento minore risulterà lo smorzamento: dal momento che deve essere trasferita solo radio frequenza, un valore di 500 - 1000 pF risulterà più che sufficiente.

Tale valore può sembrare anche elevato, ma ricordiamo in proposito che le prime due fasi della taratura si riferiscono all'ultimo trasformatore di Media Frequenza (N. 672); l'amplificazione apportata al segnale dell'oscillatore modulato da parte del ricevitore è ancora scarsa, perciò è necessario un discreto accoppiamento per ottenere la dovuta uscita. Successivamente, allorchè — tarato il trasformatore N. 672 — si inietterà il segnale sulla griglia della 12AJ8, entrerà in giuoco una maggiore amplificazione e si potrà ridurre la capacità di accoppiamento a 200 ed anche a soli 100 pF. Naturalmente, tutto ciò, è da porsi in relazione al tipo di oscillatore modulato adottato, nel senso che si presuppone l'impiego di un tipo che non preveda, allo interno, adattamenti del genere di quelli riferiti.

Prima di dare inizio alle correzioni dei circuiti sintonizzati, ci si deve preoccupare di impedire l'oscillazione della 12AJ18, e di eliminare il funzionamento del controllo automatico del volume. Per il primo provvedimento è sufficiente cortocircuitare, con un segmento di filo di rame nudo, il condensatore variabile del circuito oscillatore (COM nella illustrazione di figura 3): per il secondo, occorre cortocircuitare due condensatori fissi e precisamente i due da 40.000 pF che filtrano le due distinte linee del C.A.V. che alimentano, l'una la 12AJ8 (griglia 2) e l'altra la 12BA6 (griglia 1, tramite Media Frequenza: si può mettere a massa il piedino 3).

Come già si è accennato or ora —e come il lettore dovrebbe sapere dopo la lettura della lezione 73ª — le operazioni di taratura si iniziano con l'accordo del trasformatore N. 672, e precisamente dal secondario dello stesso.

Sarà provvisoriamente staccato il collegamento che unisce la griglia 1 della 12AB6 al piedino 4 della Media Frequenza: si collegherà, tra la griglia e la massa, una resistenza da 0,5 MΩ e si invierà il segnale di taratura tramite il condensatore di cui sopra discusso, alla griglia in questione. Ai capi del primario (tra 1 e 2) si inserirà una resistenza da 50.000 ohm.

Si tarerà l'avvolgimento secondario per l'esatta frequenza di 467 kHz generata dall'oscillatore modulato. Si noterà subito che la variazione del nucleo richiesta risulta minima: si lascerà tale nucleo nella posizione corrispondente al massimo di lettura sul voltmetro c.a. collegato all'uscita del ricevitore in uno dei modi descritti alla lezione sulla taratura. Si impieghi, per questo intervento e per gli altri che seguono, un cacciavite con minima massa metallica, del tipo detto appunto « per taratura ».

Ottenuto quanto sopra si stacchi la resistenza da 50.000 ohm che era stata posta tra 1 e 2 del trasformatore e la si colleghi tra 3 e 4. Si tari, in modo identico, il primario del 672.

La resistenza di 50.000 ohm va, successivamente, posta tra 1 e 2 del primo trasformatore di Media Frequenza (N. 671). Fatto ciò, per la taratura di tale trasformatore occorre spostare il punto di entrata del segnale: lo si inietterà alla griglia 2 della 12AJ8, dopo aver provvisoriamente eliminato il collegamento che unisce quest'ultima al commutatore del gruppo, ed aver inserito, come nel caso precedente, una resistenza da 0,5 MΩ tra la griglia e massa. Si potrà usufruire, per l'accoppiamento, dello stesso condensatore da 150 pF già collegato al piedino dello zoccolo. L'intensità del segnale del generatore sarà ridotta a mezzo dello apposito comando (il regolatore di volume del ricevitore dovrà sempre essere, dall'inizio delle operazioni,

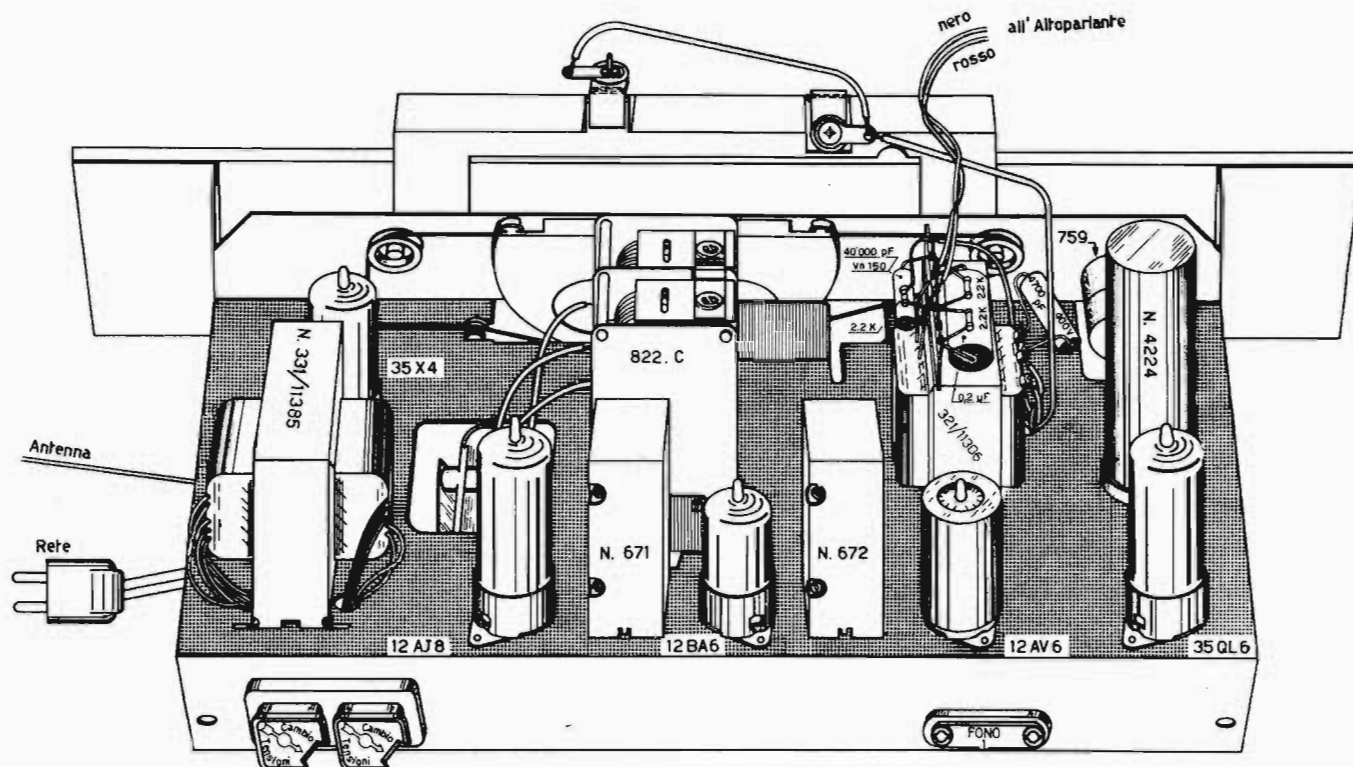



Fig. 1 - Veduta d'assieme dell'apparecchio finito, che unitamente ad analoga fotografia (vedi pagina 598) permette di identificare la dislocazione di molti componenti. Sui trasformatori di Media Frequenza si scorgono i fori necessari per agire sulle viti di taratura: il foro posto in alto corrisponde al primario. Sul trasformatore d'uscita, a mezzo basetta di ancoraggio a 7 posti, sono disposti i componenti interessati alla controreazione (tre resistenze da 2.200 ohm, un condensatore da 0,2 µF ed uno da 40.000 pF); sul lato a destra è ancorato anche il condensatore da 5.000 (4.700)pF posto parzialmente in parallelo al primario.

sul massimo) dato che anche la valvola 12AJ8 apporta amplificazione. Si tarerà il secondario. Dopo aver posto, infine, la resistenza di smorzamento tra 3 e 4, si tarerà il primario: il tutto si svolgerà — in altre parole — così come per il precedente trasformatore. Con ciò l'intera sezione a Media Frequenza risulta tarata: i collegamenti della 12AJ8 saranno ripristinati, e la fase seguente riguarderà la taratura del gruppo A.F.

La tabella che riportiamo è utile per tale operazione. Essa indica — nell'ordine — le operazioni da eseguire. Anche le illustrazioni di figura 2 e 3 non lasciano dubbi circa l'identificazione dei punti interessati.

L'oscillatore modulato sarà predisposto per la generazione del campo di frequenza da 500 a 1.500 kHz: esso sarà connesso all'attacco dell'antenna. Il cortocircuito che escludeva l'oscillatore locale del ricevitore (inserito tra le lamine del variabile) sarà tolto: resterà sempre l'eliminazione del C.A.V. in quanto, se il C.A.V. funzionasse, non si potrebbero apprezzare i risultati delle piccole varianti effettuate come operazioni di taratura. Immessa la frequenza di 600 kHz (500 m), si porterà l'indice della scala sulla dicitura riferita a tale frequenza, e si regolerà LOM sino a che, a tale punto corrisponderà il segnale. Si genererà con l'oscillatore modulato la frequenza di 1430 kHz, e si sposterà l'indice della scala parlante su 210 m: si provvederà alla coincidenza agendo su COM.

La frequenza entrante sarà spostata ancora su 600 kHz e, sintonizzatala col ricevitore, si agirà su LAM sino a leggere la massima uscita sul voltmetro. Ancora una volta si immetterà un segnale di 1430 kHz e, previo accordo, si ruoterà CAM per la massima uscita.

Questa serie di operazioni, un po' lunga da descrivere, in realtà può essere eseguita abbastanza velocemente: è opportuno — anzi — ripeterla, prima di fissare con vernice le diverse regolazioni.

Rimangono da tarare le due gamme di Onde Corte. Diremo subito che per la gamma compresa tra 25 e 70 metri non occorre taratura: le bobine sono, infatti, calibrate prima del montaggio. Per quanto riguarda la gamma 65 - 185 metri, si avvierà all'antenna del ricevitore un segnale del generatore di 2000 kHz (150 m): l'indice della scala sarà portato sulla indicazione corrispondente a 150 metri, e, ruotando LO2, si farà in modo che il segnale corrisponda a tale punto. Ottenuto ciò, non rimane che agire su LA2, sino ad osservare sul voltmetro di uscita la massima indicazione. Con questa ultima operazione l'apparecchio risulta completamente tarato.

Si provvederà ad eliminare i due cortocircuiti effettuati sui due condensatori del C.A.V. onde ripristinare così il suo regolare funzionamento.

In tutte queste operazioni, è bene tener presente che, se il segnale del generatore viene udito debolmente, o non viene udito, quando l'indice della scala si trova su l'esatta frequenza, ciò significa che il circuito da tarare è molto al di fuori delle condizioni di sintonia. Per effettuare la regolazione, si sposterà l'indice della scala del ricevitore a destra o a sinistra, fino a trovare il punto di accordo. Una volta trovatolo — mantenendo sem-

Fig. 2 - Punti di taratura accessibili dalla parte superiore dello chassis: si tratta dei due nuclei delle induttanze per la gamma di Onde Corte da 65 a 85 m, rispettivamente LA2 per il circuito d'entrata ed LO2 per il circuito dell'oscillatore, nonchè dei due compensatori del variabile sui quali si agisce solo in fase di taratura delle Onde Medie.

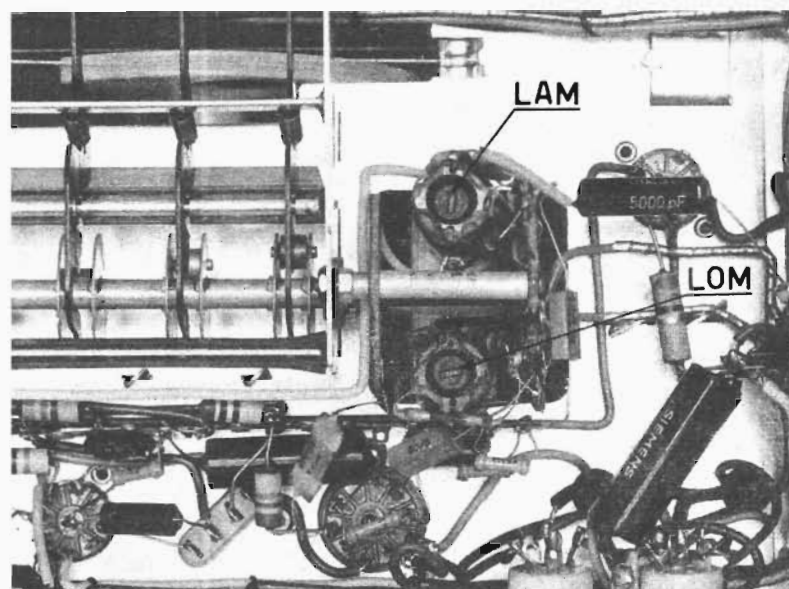
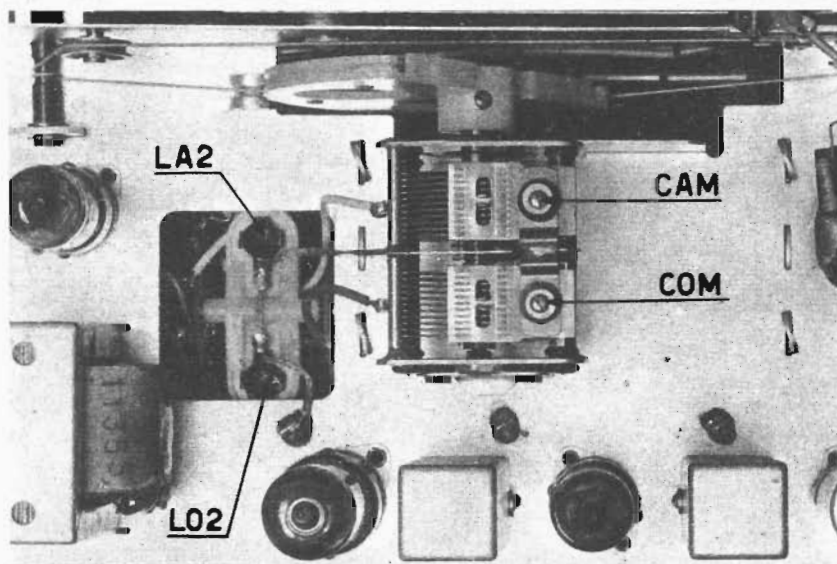



Fig. 3 - Punti di taratura accessibili della parte inferiore dello chassis. Interessano solo la gamma delle Onde Medie e sono: LAM, nucleo della bobina d'entrata (aereo) ed LOM, nucleo della bobina dell'oscillatore. Il primo, come è detto nel testo, va regolato per la massima uscita, ed il secondo per la corrispondenza dell'indice con la scala.

pre costante la frequenza del generatore — si agirà sul nucleo della bobina o sul compensatore del variabile, che si stà tarando, a seconda che — rispettivamente — si stia effettuando l'allineamento sull'estremo alto o sullo estremo basso della lunghezza d'onda.

Supponiamo — ad esempio — che il fenomeno si manifesti in corrispondenza della frequenza di 600 kHz, e che — per udire il segnale — si debba portare l'indice quasi su 550 kHz. Se, ruotando il nucleo in senso orario, si nota che — per ripristinare la massima uscita — l'indice dovrebbe essere portato su una frequenza ancora più bassa (ossia verso i 500 kHz), ciò significa che, per avere l'allineamento, il nucleo dovrà essere invece ruotato in senso antiorario.

TABELLA di TARATURA

Ordine di success.	Gamma	Regolare				Fino a ottenere
		Bob.	su MC-(m)	Comp.	su MC-(m)	
1	OM	LOM	0,6 - (500)	COM	1,43-(210)	Corrispond. con la scala.
2	OM	LAM	0,6 - (500)	CAM	1,43-(210)	Massima uscita.
3	OC2	LO2	2,0 - (150)	—	—	Corrispond. con la scala.
4	OC2	LA2	2,0 - (150)	—	—	Massima uscita.

Nota: LOM = bobina oscillatore OM - LA2 = bobina d'aereo OC2
LAM = bobina d'aereo OM - LO2 = bobina oscillatore OC2
Per la gamma OC1 non occorre taratura: le bobine sono calibrate prima del montaggio.

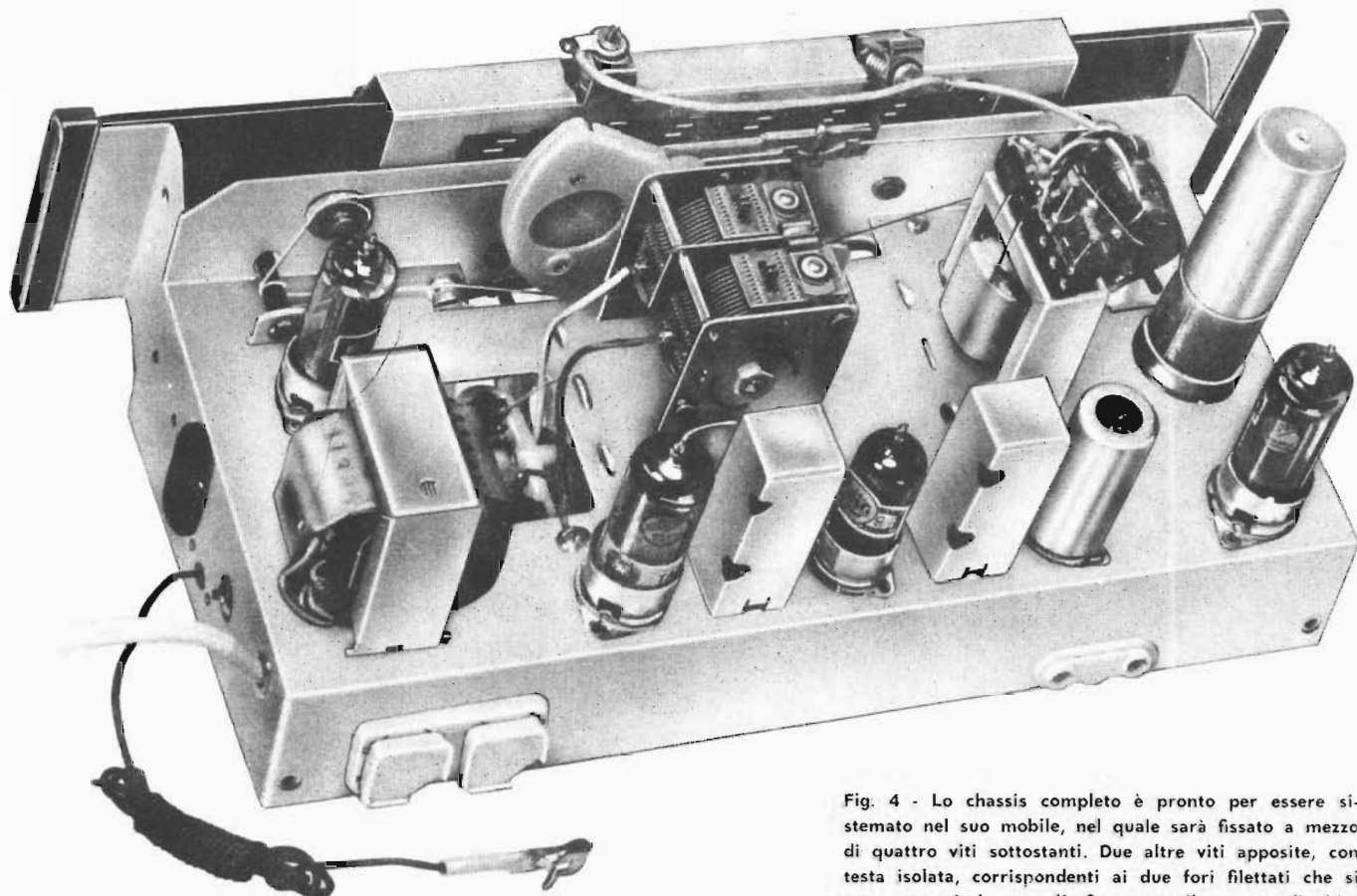



Fig. 4 - Lo chassis completo è pronto per essere sistemato nel suo mobile, nel quale sarà fissato a mezzo di quattro viti sottostanti. Due altre viti apposite, con testa isolata, corrispondenti ai due fori filettati che si scorgono nei due angoli, fisseranno il cartone di chiusura.

Questa manovra, più difficile a descriversi che a compiersi, risulterà di estrema semplicità dopo le prime esperienze.

Per concludere, si tenga sempre presente che maggiore è la cura con cui viene effettuata la messa a punto, migliore è il risultato che si ottiene, e — di conseguenza — la soddisfazione derivante da questo montaggio.

La sensibilità del ricevitore è tale da consentire il funzionamento anche utilizzando come antenna lo spezzone di filo fornito con la scatola di montaggio, della lunghezza di pochi metri. Infatti, è sufficiente una tensione del segnale di ingresso di 5 microvolt. Ovviamente però, applicando una buona antenna, il numero delle emittenti ricevute aumenta considerevolmente, in particolar modo nella gamma delle Onde Corte.

Si rammenti che, in nessun caso, è opportuno collegare lo chassis ad una presa di terra. A tale scopo, è già sufficiente il contatto diretto tra il telaio e la rete elettrica.

In merito ai pulsanti del comando a tastiera, si tenga sempre presente che l'apparecchio è spento soltanto quando il primo pulsante di sinistra è completamente abbassato, e rimane in tale posizione: la minima pressione esercitata su uno degli altri tasti determina la accensione del ricevitore e l'inclusione di una gamma.

Aspetto dell'apparecchio, racchiuso nel suo mobile. Come si nota, oltre alle prerogative tecniche enumerate nella lezione, esso è caratterizzato da una linea moderna e funzionale. Il mobile - in materia plastica - è stato studiato per consentire una buona riproduzione delle frequenze acustiche. Le viti di fissaggio al telaio della chiusura posteriore sono in materia plastica. In tal modo si evita qualsiasi pericolo di scossa a causa del contatto diretto tra la rete e la massa.

per RILEGARE

le lezioni del "Corso di RADIOTECNICA„ potete ora disporre di una apposita, razionale copertina - imitazione pelle - con diciture in oro.

La copertina viene fornita con tutto il necessario atto a formare un vero e proprio volume: non si tratta quindi di un semplice raccoglitore, ma di un sistema, brevettato, che consente a chiunque di rilegare, da se, i diversi fascicoli.

Questa copertina prevede la raccolta di 26 fascicoli (metà Corso) - volume 1° -

POTETE EVITARE QUALSIASI ALTRA SPESA PER FORMARE IL VOSTRO VOLUME

L'INVIO VIENE EFFETTUATO A MEZZO POSTA E LE RICHIESTE — ACCOMPAGNATE DALL'IMPORTO DI LIRE 880 + 195 (RIMBORSO SPESE SPEDIZIONE) = **LIRE 1075** - DEVONO ESSERE INDIRIZZATE DIRETTAMENTE AL **« CORSO DI RADIOTECNICA » - VIA DEI PELLEGRINI 8/4 - MILANO.**

L'IMPORTO DI LIRE 1075 PUO' ESSERE VERSATO SUL CONTO CORRENTE POSTALE N. 3/41203, MILANO. — SI PREGA DI SCRIVERE IN MODO MOLTO CHIARO IL PROPRIO INDIRIZZO.

PER I SUCCESSIVI 26 FASCICOLI E' IN PREPARAZIONE LA COPERTINA CON LA DICITURA **« VOLUME II° »**. POTRA' ESSERE ACQUISTATA TRA QUALCHE TEMPO E, DATO IL PARTICOLARE SISTEMA, I FASCICOLI VI **POTRANNO ESSERE RILEGATI OGNI SETTIMANA.**

ALLA FINE DEL **« CORSO »** E' PREVISTA LA PUBBLICAZIONE DI UNA « ERRATA CORRIGE » E DI INDICI MOLTO UTILI E PRATICI PER LA RICERCA DEI VARI ARGOMENTI.

Anche se possedete già dei fascicoli del « Corso di RADIOTECNICA » VI POTETE ABBONARE

Calcolando un importo di lire 120 (centoventi) per ogni fascicolo in vostro possesso, detraete l'ammontare dalla quota di abbonamento. **Inviando la differenza** precisate i singoli numeri dei fascicoli esclusi.
Se vi interessano invece fascicoli arretrati affrettatevi a richiederli prima che qualche numero risulti esaurito. Attualmente possiamo spedire i fascicoli finora pubblicati, **a lire 150 cadauno** in luogo di lire 300 (prezzo normale degli arretrati).

Versamenti sul conto corrente postale N. 3/41.203 - Milano.

HEATH COMPANY

a subsidiary of Daystrom, Inc.

Laboratory Generator KIT

MODELLO

LG-1

CARATTERISTICHE

Frequenza	100 kHz ÷ 30 MHz in 5 gamme tarate
Uscita	0,1 Volt massimo
Attenuazione	5 salti nel rapporto 10:1 e continua nel rapporto 10:1, misurata con strumenti ad indice
Modulazione	0÷50% msiurata con strumento ad indice a 400 Hz generati internamente, oppure da 60 a 10.000 Hz esternamente
Impedenza d'uscita	50 Ohm
Tubi elettronici	1 - 6AF4; 1 - 6AV5; 1 - 12AU7; 1 - OB2
Alimentazione	105÷125 Volt c.a.; 50÷60 Hz
Dimensioni	larghezza 32,5, altezza 21, profondità 17,5 cm.

REQUISITI

- Alimentatore con trasformatore a tensione stabilizzata.
- Ciriuito oscillatore con doppia schermatura.
- Efficace filtro per la minima irradiazione da parte del cavo di alimentazione.
- Lettura del livello della R.F. all'uscita e della percentuale di modulazione su uno strumento ad indice accuratamente tarato.
- Tutte le frequenze presenti all'uscita sono in fondamentale.

RAPPRESENTANTE GENERALE PER L'ITALIA

LARIR soc. r. l. **MILANO** P.zza 5 GIORNATE 1
Telefoni: 795.762 - 795.763

AGENTI ESCLUSIVI DI VENDITA PER: LAZIO - UMBRIA - ABRUZZI
Soc. FILC RADIO - ROMA
Piazza Dante, 10 - Telefono 736.771

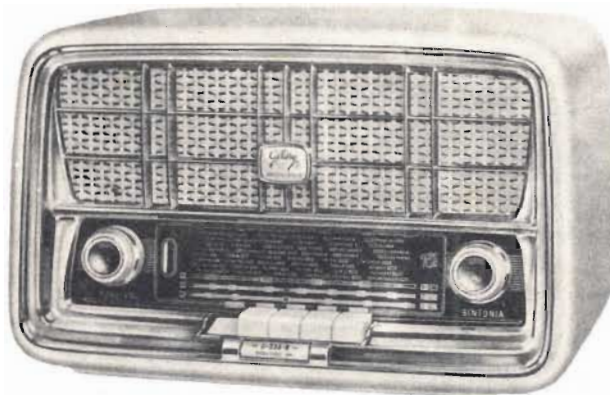
EMILIA - MARCHE
Ditta A. ZANIBONI - BOLOGNA
Via Azzogardino, 2 - Telefono 263.359

GELOSO

Un ricevitore veramente completo, che voi stessi potete costruire con facilità e sicurezza di riuscita, è il

G 334

descritto alla lezione 74ª

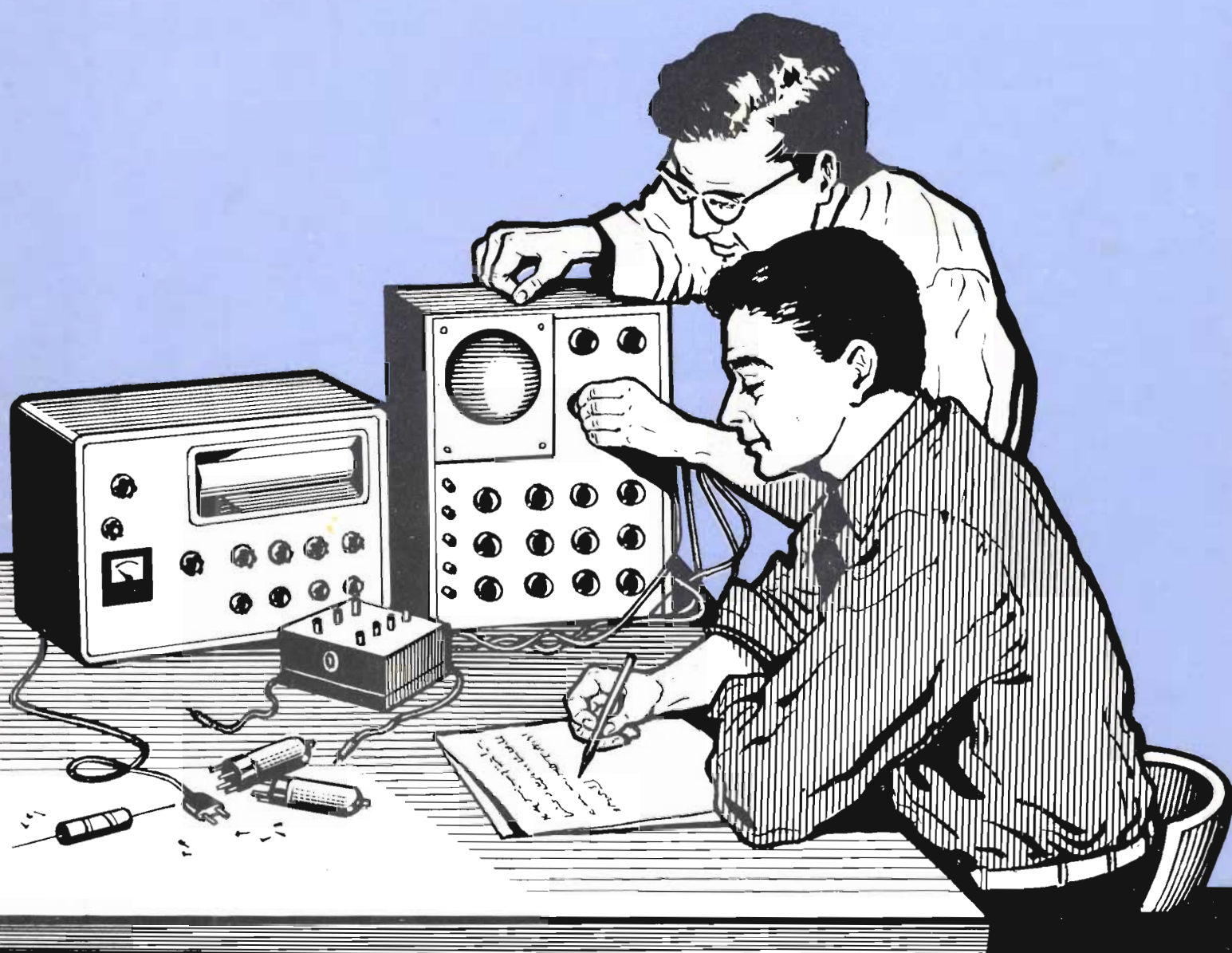
Vi permette la ricezione delle Onde Corte e Medie, è corredato di comandi a tastiera, e costituisce la più conveniente soluzione – anche dal punto di vista economico – per realizzare un apparecchio radio modernissimo.

Col G 334 la ricezione è estesa su tre gamme (1 di Onde Medie e 2 di Onde Corte: da 25 a 70 e da 65 a 185 m): ciò permette l'ascolto di numerose stazioni in qualsiasi ora del giorno e della notte. La controreazione di Bassa Frequenza conferisce all'apparecchio prerogative di ottima qualità di riproduzione. L'occhio elettrico rende semplicissima l'operazione di una esatta sintonizzazione, resa d'altronde già molto agevole dalla scala parlante demoltiplicata. Si hanno inoltre 6 circuiti accordati, comando a tastiera per il cambio di gamma — controllo di tono — altoparlante ellittico — alimentazione da 100 e 230 volt. Il mobile è in colore marrone, con finiture colore avorio. Dimensioni di cm 37 × 20 × 24 e peso di kg. 4,450.

G 334/SM — Scatola di montaggio, completa di valvole e di ogni parte necessaria alla costruzione. Prezzo comprensivo di tasse radio e di imballo, porto escluso . . . . Lire 14.900

Mobile marrone, completo per detto. Prezzo comprensivo di tasse e imballo . . . . Lire 4.200

G 334 — Ricevitore montato, tarato e collaudato, completo di mobile. Prezzo, tasse radio comprese . . . . Lire 27.800

GELOSO S.p.A. - Viale Brenta, 29 - Telefoni 563.183/4/5/6/7 - MILANO (808)

corso di RADIOTECNICA

pubblicazione settimanale - 25 - 31 marzo 1961 - un fascicolo lire 150 **26°** numero

corso di
RADIOTECNICA

settimanale a carattere culturale

Direzione, Amministrazione, Pubblicità:
Via dei Pellegrini 8/4 - Telef. 593.478

MILANO

Ogni fascicolo — contenente 3 lezioni — costa lire 150, acquistato alle edicole.

Se l'edicola risulta sprovvista, o si teme di rimanere privi di qualche numero, si chieda invio settimanale direttamente al proprio domicilio a mezzo abbonamento.

Il versamento per ricevere i 52 fascicoli costituenti l'intero Corso è di lire 6500 + I.G.E. = lire 6630. A mezzo vaglia postale, assegno bancario, o versamento sul conto corr. postale 3/41.203 del « Corso di RADIOTECNICA » - Via dei Pellegrini 8-4 - Milano. In ogni caso, scrivere in modo molto chiaro e completo il proprio indirizzo.

L'abbonamento può essere effettuato in qualsiasi momento; si intende comprensivo delle lezioni pubblicate e dà diritto a ricevere tali lezioni, che saranno inviate con unica spedizione.

Estero: abbonamento al Corso, Lit. 8.500. ($ 15). Numeri singoli Lit. 300 ($ 0,50).

Per i cambi di indirizzo durante lo svolgimento del Corso, unire lire 100, citando sempre il vecchio indirizzo.

Fascicoli singoli arretrati — se disponibili — possono essere ordinati a lire 300 cadauno.
Non si spedisce contrassegno.

Distribuzione alle edicole di tutta Italia: Diffus. Milanese . Via Soperga, 57 - Milano.

Direttore responsabile: Giulio Borgogno.

Autorizzaz. N. 5357 - Tribunale di Milano.

Stampa: Intergrafica S.r.l. - Cologno Monzese.

La Direzione non rivende materiale radio; essa può comunicare, se richiesta, indirizzi di Fabbricanti, Importatori, Grossisti ecc. in grado di fornire il necessario ed ai quali il lettore può rivolgersi direttamente.

Alla corrispondenza con richiesta di informazioni ecc. si prega allegare sempre il **francobollo per la risposta.**

Parte del testo e delle illustrazioni è dovuta alla collaborazione del Bureau of Naval Personnel, nonchè al Dept. of the Army and the Air Force - U.S.A.

A chi può essere utile questo Corso? Anzitutto — stante la sua impostazione — il Corso, basato sull'esposizione in forma a tutti accessibile, della radiotecnica, dai suoi elementi basilari alla evoluzione più recente, rappresenta la forma ideale per tutti coloro che intendono dedicarsi all'elettronica, sia come forma ricreativa sia — soprattutto — per l'acquisizione di una professione specializzata che possa procurare loro una posizione di privilegio in seno alla società odierna.

Anno per anno, la nostra civiltà si indirizza sempre più verso questa meravigliosa, si potrebbe dire fascinosa, elettronica, che nel modo più evidente consente sviluppi impensati, progressi grandiosi e una rapida evoluzione di tutti gli altri rami dello scibile che essa tocca e influenza.

L'industria, tutta l'industria, nel senso più ampio, da quella elettrotecnica a quella meccanica, alla metallurgica, alla chimica ecc., con i suoi laboratori di ricerca e le sue fabbriche richiede, e richiederà sempre più, con un ritmo rapidamente crescente, tecnici specializzati con conoscenza dell'elettronica, tecnici specificatamente elettronici e persino operai e impiegati di ogni ordine e categoria con cognizioni di elettronica.

Si può dire che anche le branche commerciali, quelle dei trasporti e persino quelle amministrative con le recenti introduzioni delle calcolatrici, abbisognano di personale che conosca i principi dell'elettronica, le macchine relative, il loro pieno sfruttamento, la eventuale riparazione ecc. e, quanto più in modo completo, quanto meglio.

Nasce, da una tale situazione, una logica conseguenza: per la scelta di una professione o di un mestiere, per un miglioramento della propria posizione sociale, per l'intrapresa di una libera attività o anche per la sola acquisizione di cognizioni che indubbiamente verranno oltremodo utili, è quanto mai opportuno riflettere se non sia conveniente dedicare un po' di tempo allo studio di questa scienza che ha tra l'altro il pregio di rendersi immediatamente attraente, concreta, accessibile e foriera di moltissime soddisfazioni.

A questo scopo appunto, e con questi intenti, è stato redatto questo Corso.

Non mancano invero altri corsi (specie per corrispondenza) o scuole di radiotecnica, nè mancano (sebbene siano in numero del tutto inadeguato) scuole statali o pareggiate ma la struttura e l'impostazione che caratterizzano queste 156 lezioni sono alquanto particolari, presentando non pochi vantaggi sulle diverse altre forme di cui si è detto.

Anzitutto vogliamo porre in evidenza **il fattore economico.**

Frequentare regolarmente, durante tutto l'anno, una scuola è certo il modo più logico — anche se non il più rapido — per apprendere ma, tralasciando il fatto che rarissimi sono gli Istituti di radiotecnica, è a tutti possibile dedicarsi esclusivamente, e per l'intero anno, allo studio? Noi riteniamo che chi può farlo costituisca oggi assai più l'eccezione che la regola. Ciò significa infatti poter disporre liberamente del proprio tempo senza avere la necessità di un contemporaneo guadagno: il nostro Corso permette a chiunque di studiare a casa propria, nelle ore libere dal lavoro, senza abbandonare o trascurare quest'ultimo. Ciò caratterizza invero anche altri corsi, ma il vantaggio economico diviene notevole ed evidentissimo se si considera che di fronte all'esborso, anche se rateale, di quasi 80.000 lire che i corsi per corrispondenza richiedono, seguendo il nostro Corso la spesa in un anno risulta di poco più di 7500 lire (150 lire alla settimana presso un'edicola) o di 6630 lire totali, con recapito postale, settimanale, delle lezioni a domicilio.

E' superfluo dire che la Modulazione di Frequenza, i transistori, i circuiti stampati, la trasmissione, il telecomando ecc. sono argomenti integrali del Corso e non costituiscono motivo di corsi speciali, aggiunti o particolari.

Le lezioni di questo Corso — a differenza di molte altre — non sono stampate con sistemi di dispensa, a ciclostile, o con sistemi più o meno analoghi, derivanti cioè da un originale battuto a macchina da scrivere; esse sono stampate in uno stabilimento grafico, con chiari caratteri tipografici da cui deriva una assai più agevole lettura e — fattore certamente di non secondaria importanza — un contenuto molto più ampio, corrispondendo una pagina a stampa a tre o quattro pagine di quelle citate. Il lettore avrà, alla fine del Corso, un volume di ben 1248 pagine di grande formato!

Chiunque, indipendentemente dall'età, dalla professione e dalle scuole compiute **può seguire il Corso.** Alle esposizioni teoriche si abbinano numerose, attraenti, istruttive ed utili descrizioni che consentono la realizzazione di ricevitori, amplificatori, strumenti vari e persino di trasmittenti su onde corte.

A questo proposito è sintomatico il fatto che la Direzione non vuole assolutamente assumere la fisionomia di un fornitore o commerciante di materiale radio, rivendendo agli allievi le parti necessarie. Il materiale occorrente l'interessato può acquistarlo dove e come meglio crede e, assai spesso anzi, già ne dispone. Viene così evitato l'acquisto forzoso, caratteristico più o meno di tutti gli altri corsi.

Anche chi è già radiotecnico, anche chi ha seguito o segue altri corsi troverà il massimo tornaconto in questo completo ed aggiornato lavoro. Molte nozioni, è logico, saranno note, altre un po' meno e sarà utile rinfrescarle, e il tutto infine costituirà un manuale di consultazione, prezioso tanto per la teoria esposta quanto per i numerosi schemi, per le tabelle, per i grafici, gli elenchi, i dati, il vocabolario dei termini ecc.

Concludendo, si può affermare che questo **Corso di Radiotecnica** oltre che come insegnamento graduale si presenta come **enciclopedia e rivista assieme** ciò che permette di formare — con modestissima spesa — **il più completo, ricco, utile e pratico volume di radiotecnica di cui sia dato oggigiorno disporre.**

PRINCIPI della MODULAZIONE di FREQUENZA

Un'onda modulata in frequenza è caratterizzata da un'**ampiezza costante,** e da una **variazione istantanea della frequenza** intorno al valore della portante, di una quantità proporzionale alla ampiezza del segnale modulante. Quando l'ampiezza del segnale modulante aumenta, anche la frequenza aumenta, e viceversa.

Nelle **figure 1** e **2** sono illustrate rispettivamente due frequenze acustiche modulanti, di diversa ampiezza (**A**), due frequenze portanti (**B**), nonchè gli inviluppi di modulazione dell'onda modulata in frequenza (**C**). Come si nota, le due portanti sono tra loro identiche. Osservando gli inviluppi di modulazione si vede che, con l'aumentare dell'ampiezza del segnale acustico modulante in senso positivo, i cicli della portante diventano più numerosi nella unità di tempo (ascissa); in altre parole, come si è detto sopra, la frequenza della portante aumenta. Quando invece l'ampiezza del segnale modulante diminuisce e si porta verso il massimo negativo, la frequenza della portante diminuisce. Inoltre — come si vede confrontando le due sezioni C delle figure — la deviazione massima di frequenza, cioè il numero di Hz, varia in funzione dell'ampiezza del segnale modulante. La massima variazione di frequenza si ha in corrispondenza dei picchi di modulazione.

Le **figure 3** e **4** dimostrano come, a parità di ampiezza del segnale modulante — e quindi a parità di deviazione massima di frequenza — il numero di deviazioni complete nella unità di tempo sia eguale al numero di periodi della frequenza modulante, contati nella medesima unità di tempo.

Le caratteristiche di un'onda modulata in frequenza sono pertanto le seguenti: l'ampiezza dell'inviluppo di modulazione è costante; la deviazione massima di frequenza in più e in meno rispetto al valore della portante risulta determinata unicamente dall'ampiezza del segnale modulante; la frequenza del segnale modulante determina il numero di volte in un secondo in cui si verificano deviazioni di frequenza entro i limiti massimi. (Torniamo ancora su questo concetto basilare per distinguere con chiarezza questo tipo di modulazione da quella normale di ampiezza, già illustrata alla lezione 61ª).

Il rapporto tra la variazione massima di frequenza e la frequenza massima del segnale modulante si chiama **indice di modulazione**. Esso è espresso dalla seguente formula:

$$\textit{indice di modulazione} = \frac{\text{mass. deviaz. di frequenza}}{\text{mass. freq. del segnale mod.}}$$

La percentuale di modulazione di un'onda modulalata in frequenza non può essere deteminata nel medesimo modo con cui viene determinata nel caso della modulazione di ampiezza; una modulazione del 100% significherebbe una variazione di frequenza della portante tra zero ed il doppio del suo valore. La percentuale di modulazione viene invece definita — per convenzione — come il rapporto percentuale tra la variazione di frequenza rispetto ad un valore di deviazione stabilito come massimo. Nel caso della radiodiffusione a Modulazione di Frequenza, la variazione massima consentita è di 75 kHz; in tal caso perciò, la modulazione al 100% si ottiene quando la deviazione della portante è di 75 kHz. Ad una deviazione di 37.5 kHz corrisponde ovviamente una profondità di modulazione del 50%.

Questa definizione non è però assoluta, dato che dipende dalla massima deviazione di frequenza adottata in una data apparecchiatura.

Le BANDE LATERALI

Abbiamo già considerato questo argomento a pagina 482, e, al fine di meglio comprendere quanto diremo tra breve, è opportuno rileggere il paragrafo omonimo ivi riportato. Infatti, affinchè siano chiari tutti i concetti relativi alla modulazione di frequenza, è bene ricordare le caratteristiche della modulazione di ampiezza.

Sappiamo che, in modulazione di ampiezza, ogni singola frequenza che moduli una portante determina due bande laterali. Se il segnale modulante consta di più frequenze (segnali complessi), ogni frequenza che lo compone determina due bande laterali. E' questo il caso — ad esempio — di un'onda portante modulata mediante la B.F. derivante da una ripresa musicale, nella quale, in ogni istante, si hanno tanti suoni simili o totalmente diversi, quanti sono gli strumenti in funzione.

Tuttavia, le uniche bande laterali che devono essere prese in considerazione ai fini pratici sono le più esterne, quelle cioè corrispondenti a quei segnali acustici la cui frequenza è più elevata.

La **figura 5** illustra il caso di una portante di 1.000 kHz (1 MHz), e delle bande laterali prodotte da due segnali a B.F., rispettivamente di 5 e 10 kHz. L'altezza del tratto verticale centrale rappresenta la potenza della portante. Come si nota, la frequenza modulante di 5 kHz determina due bande laterali a 995 e 1.005 kHz rispettivamente, e la frequenza di 10 kHz determina le due bande a 990 e 1.010 kHz.

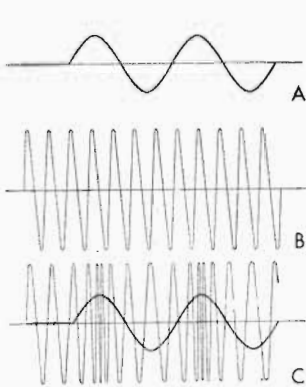



Fig. 1 - In A onda modulante, in B portante ed in C onda B modulata in frequenza da A.

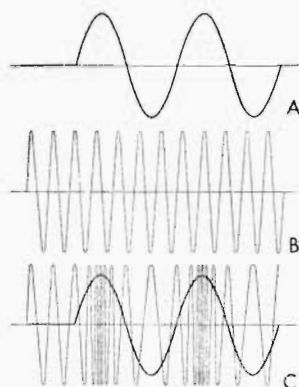



Fig. 2 - Maggiore ampiezza di A, a parità di portante, provoca aumento di frequenza e viceversa.

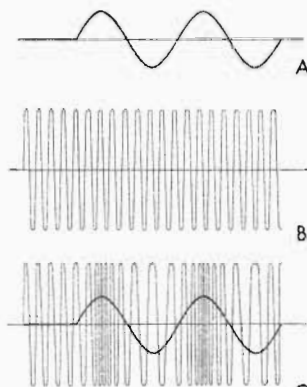



Fig. 3 - A frequenza bassa di A corrispondono poche deviazioni di frequenza.

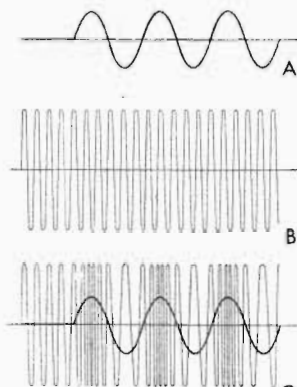



Fig. 4 - A frequenza alta di A corrispondono più frequenti deviazioni dell'onda

Nella modulazione di frequenza, l'ampiezza del segnale modulante determina la variazione della frequenza portante, il cui valore si allontana da quello centrale proporzionalmente.

E' possibile fare in modo che la frequenza istantanea differisca da quella della portante di un valore qualsiasi, scelto a piacere, variando semplicemente **l'ampiezza** del segnale modulante. E' pertanto possibile ottenere variazioni di frequenza pari a diverse volte la frequenza stessa di modulazione.

In pratica — infatti — si possono avere variazioni di frequenza di diverse centinaia di kHz, sebbene le frequenze acustiche modulanti non siano — in genere — di valore superiore a 15 kHz. Da ciò deriva che le bande laterali prodotte dalla modulazione in frequenza di una data portante, non sono limitate alla somma ed alla differenza tra detta portante e la massima frequenza di modulazione, come avviene in modulazione di ampiezza.

Mentre — in questo caso — si verifica la presenza di due frequenze laterali equidistanti dalla portante, in modulazione di frequenza vengono prodotte diverse frequenze laterali, che dipendono — sia per il numero che per l'ampiezza — dall'indice di modulazione.

Di conseguenza, un'onda modulata in frequenza è caratterizzata da una ampiezza di banda maggiore che non un'onda modulata in ampiezza. Ad esempio, se una portante di 1 MHz viene modulata in frequenza con un segnale acustico di 10 kHz, si otterranno diverse componenti laterali a 990 e 1010, a 980 e 1020, a 970 e 1030 kHz ecc. Ognuna di queste frequenze avrà una certa ampiezza. Si definisce **larghezza di banda di una onda modulata in frequenza** il doppio della distanza in frequenza che intercorre tra la posizione della portante e la frequenza laterale più lontana la cui ampiezza non supera l'1% dell'ampiezza della portante non modulata.

La larghezza di banda è in funzione dell'indice di modulazione. In pratica, la larghezza di banda di un trasmettitore modulato in frequenza risulta pari al doppio della massima deviazione di frequenza. Il rapporto tra frequenza portante e larghezza di banda risulta inoltre assai maggiore nel caso di un'onda modulata in frequenza che non di un'onda modulata in ampiezza. Per questo motivo, i circuiti amplificatori in Alta Frequenza e lo stesso canale di Media Frequenza dei ricevitori M.F. sono costruiti con accorgimenti che consentono il passaggio indistorto della banda di frequenze richiesta. E' necessario scegliere una portante di valore sufficientemente elevato allo scopo di poter disporre di molti canali: per questo le radiodiffusioni a modulazione di frequenza vengono effettuate in una gamma di frequenze compresa tra 87 e 100 MHz. Nel caso di trasmissioni con modulazione di frequenza a banda stretta, è possibile usare, ovviamente, le frequenze interessanti le gamme delle onde corte.

Esistono delle relazioni definite tra l'ampiezza del segnale modulante, la sua frequenza, la variazione di frequenza da esso prodotta e l'ampiezza totale della banda occupata dall'inviluppo di modulazione risultante. A parità di deviazione di frequenza, il numero delle bande laterali aumenta col diminuire della frequenza portante, e l'intera larghezza di banda diminuisce col diminuire della frequenza modulante. L'ampiezza di banda totale, tuttavia, non può mai essere inferiore all'ampiezza di banda determinata dalla sola deviazione tra picco e picco, indipendentemente dal valore minimo della frequenza modulante. Se l'ampiezza di modulazione aumenta — e la sua frequenza rimane costante — aumenta la variazione di frequenza e, contemporaneamente, l'indice di modulazione. Ciò significa che una maggior quantità di energia viene spesa nelle bande laterali, per cui un maggior numero di esse raggiunge un'ampiezza efficace. Ne consegue che il numero delle frequenze laterali utili aumenta contemporaneamente alla larghezza di banda.

Riassumendo, a questo punto, possiamo dire che la posizione delle coppie di frequenze laterali per una unica frequenza sinusoidale modulante, dipende soltanto dalla frequenza di quest'ultima. L'ampiezza delle frequenze laterali dipende — ripetiamo — dall'indice di modulazione, che è funzione — come è noto — della ampiezza di modulazione, in quanto lo spostamento di frequenza è proporzionale all'ampiezza del segnale. Le coppie di frequenze laterali appaiono ad entrambi i lati della frequenza portante in numero ed ampiezza variabili.

Un esempio è dato in **figura 6**. L'assieme delle frequenze laterali componenti forma lo **spettro di frequenza** dell'onda modulata in frequenza: ad esempio, se la frequenza modulante è di 15 kHz, e lo spostamento di frequenza ammonta a 75 kHz, l'indice di modulazione

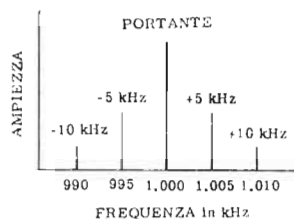



Fig. 5 - Una portante di 1.000 kHz modulata da 5 e da 10 kHz ha le bande laterali qui indicate. L'altezza dei tratti indica la potenza.

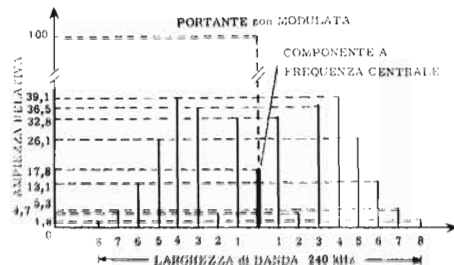



Fig. 6 - Spettro di frequenza di un'onda modulata in F.M. con ampiezza delle frequenze laterali sino all'8ª che dista (per frequenza modulata di 15 kHz) 120 kHz per lato dalla portante.

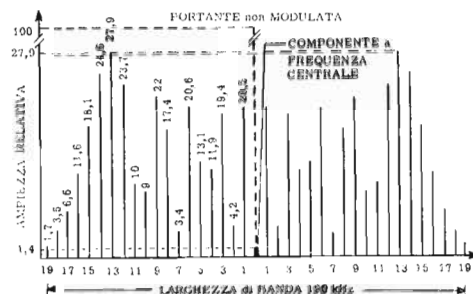



Fig. 7 - Spettro di un'onda modulata in F.M. con ampiezza delle frequenze laterali sino alla 19ª che, per frequenza modulante di 5 kHz, dista 95 kHz per lato dalla portante.

sarà pari a 75/15, ossia 5; i componenti della frequenza oltre l'ottavo paio di bande laterali saranno inferiori all'1% dell'ampiezza della portante non modulata, ossia trascurabili.

L'onda a modulazione di frequenza consiste in una frequenza centrale portante, ed in un numero di coppie di frequenze laterali, le quali, per una data frequenza ed ampiezza di modulazione, sono costanti. L'inviluppo di modulazione ha un'ampiezza costante, e la frequenza del segnale varia in modo continuo. L'inviluppo di modulazione, costituito dalla somma algebrica delle frequenze laterali e dalla frequenza portante o centrale, varia in ampiezza contemporaneamente alla modulazione.

Quando il segnale trasmesso non è modulato, la potenza del trasmettitore è concentrata sulla sola onda portante. Per contro, allorchè si sovrappone la modulazione, la potenza è tolta alla portante e viene distribuita nelle bande laterali. L'ampiezza della prima viene perciò ridotta e, talvolta annullata. La massima potenza (nel caso di figura 6) si verifica in corrispondenza della quarta frequenza laterale, la quale si discosta dalla portante di 60 kHz (4x15).

La frequenza portante o centrale varia in ampiezza conformemente alla modulazione, mentre, nella modulazione di ampiezza, la potenza necessaria per le bande laterali viene fornita dal modulatore e non viene detratta dalla portante.

Dal momento che la portante non reca alcuna modulazione in se stessa, la riduzione della sua ampiezza aumenta l'efficenza della trasmissione nei confronti della potenza consumata. Per un certo valore dell'indice di modulazione e della frequenza modulante, l'ampiezza della portante scende a zero, per cui l'intera potenza risiede nelle bande laterali.

Nella figura 6, con una variazione di frequenza di 75 kHz, ed una modulazione di 15 kHz, la componente della frequenza centrale si riduce a meno del 20% della ampiezza della portante non modulata. Se la frequenza modulante viene ridotta a 5 kHz, con la medesima variazione di frequenza di 75 kHz, (vedi **figura 7**), la ampiezza della frequenza centrale si riduce all'1,4% della portante non modulata. Le frequenze laterali sono distanziate ogni 5 kHz ad entrambi i lati della frequenza centrale, fino alla diciannovesima coppia.

Tutte le frequenze laterali successive hanno ampiezza inferiore all'1% dell'ampiezza della portante, e non sono quindi considerate come componenti del canale occupato dall'onda modulata.

Nel caso della frequenza modulante di 15 kHz, come nella figura 6, con un indice di modulazione pari a 5, la ampiezza totale della banda è di 240 kHz. Con una frequenza modulante di 5 kHz, (vedi figura 7), e con un'indice di modulazione pari a 25, l'ampiezza di banda totale ammonta a 190 kHz.

In entrambi i casi, l'ampiezza di banda è maggiore dei limiti di spostamento di + o — 75 kHz, che equivale ad uno spostamento tra picco e picco di 150 kHz. Tuttavia, le bande laterali al di sopra e al di sotto del limite di ampiezza sono relativamente piccole, per cui possono essere trascurate. In entrambe le figure, la portante non modulata è rappresentata con un segno tratteggiato per permettere il confronto con l'ampiezza delle bande laterali a modulazione di frequenza.

La **figura 8** illustra le relazioni che intercorrono tra l'ampiezza delle bande laterali ed una frequenza acustica modulante, per un indice di modulazione pari a 2. Con frequenza di modulazione di 15 kHz, lo spostamento è quindi di 30 kHz. L'onda portante modulata (che è il risultato della somma algebrica della portante e delle bande laterali) è illustrata nella sezione **A**, con l'evidente sovrapposizione della frequenza modulante.

In **B** è riportata la componente a frequenza centrale o portante.

In corrispondenza dei picchi positivi delle alternanze di modulazione, la frequenza istantanea dell'onda è f_C più f_D, ossia la massima deviazione di frequenza, mentre in corrispondenza dei picchi negativi, detta frequenza è pari a f_C meno f_D. Il massimo spostamento di frequenza ammonta a dunque $2f_D$.

Se la frequenza della portante è di 100 MHz, con uno spostamento di frequenza di 30 kHz, il limite inferiore di spostamento è 99,97 MHz, ed il limite superiore è 100,03 MHz.

Vi sono quattro paia di bande laterali la cui ampiezza supera il livello dell'1%, ed alcune di esse hanno una ampiezza superiore a quella della portante. Esse sono distanziate da entrambi i lati della frequenza centrale con intervalli di 15 kHz, come in **C**, **D**, **E**, ed **F**; ogni coppia di bande laterali ha una sua propria ampiezza, come è visibile in **G**.

La frequenza centrale si riduce in ampiezza al 22,4%

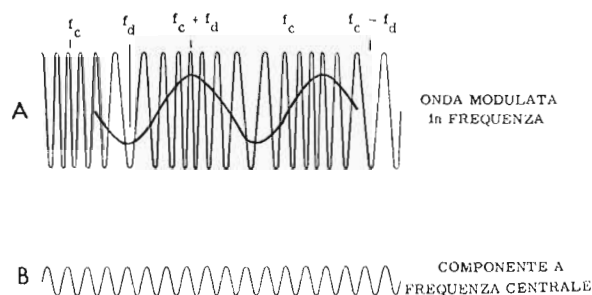



Fig. 8 - In A onda modulata in F.M. In B è indicata la componente a frequenza centrale o portante: alle figure seguenti le diverse coppie di bande laterali.

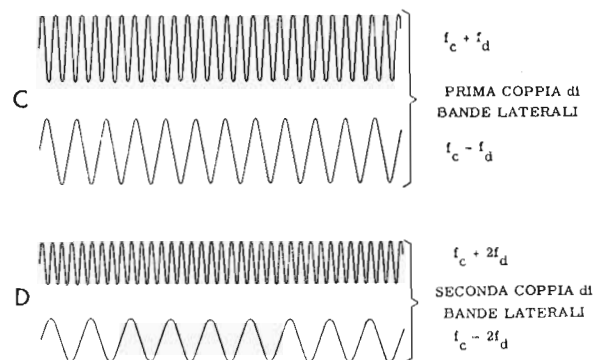



Fig. 8 - In C la 1ª delle coppie di bande laterali con la frequenza più alta e la più bassa. In D, lo stesso per la 2ª coppia.

del valore che essa ha in assenza di modulazione. La prima coppia di bande laterali (a 99,985 MHz e 100,015 MHz) ha una ampiezza pari al 57,7% di quella della portante non modulata; la seconda coppia (a 99,97 e 100,03 MHz) ha un'ampiezza pari al 35,3%, e così via.

Per calcolare il numero e l'ampiezza delle bande laterali sono disponibili apposite tabelle; la tabella n. 74 qui riportata — ad esempio — elenca il numero effettivo di coppie di bande laterali per un dato indice di modulazione, nonchè l'ampiezza di banda effettiva determinata da una data frequenza acustica modulante f_A. Per calcolare il numero delle bande laterali mediante detta tabella è necessario conoscere la variazione di frequenza nonchè la frequenza modulante. Il rapporto fra le due determina — come sappiamo — l'indice di modulazione, il quale, a sua volta, determina il numero delle coppie di bande laterali effettive. Ad esempio, se la variazione di frequenza è di 25 kHz. e la frequenza modulante è di 5 kHz, l'indice di modulazione è di 5. Dalla tabella apprendiamo che un segnale con un indice di modulazione pari a 5 ha 8 coppie di bande laterali, e l'ampiezza di banda corrisponde a 16 volte la frequenza di modulazione di 5 kHz, ossia 80 kHz. Gli indici di modulazione inferiori a 0,5 hanno un solo paio di bande laterali, e l'ampiezza di banda equivale a $2f_A$.

TABELLA 74 - FREQUENZE LATERALI e AMPIEZZA di BANDA in FUNZIONE dell'INDICE di MODULAZIONE

INDICE di MODULAZIONE $M = f_D : f_A$	NUMERO EFFETTIVO di COPPIE di FREQUENZE LATERALI	AMPIEZZA di BANDA EFFETTIVA
0,5	2	4 f_A
1,0	3	6 f_A
2,0	4	8 f_A
3,0	6	12 f_A
4,0	7	14 f_A
5,0	8	16 f_A
6,0	9	18 f_A
7,0	11	22 f_A
8,0	12	24 f_A
9,0	13	26 f_A
10,0	14	28 f_A
11,0	15	30 f_A
12,0	16	32 f_A
13,0	17	34 f_A
14,0	18	36 f_A
15,0	19	38 f_A
16,0	20	40 f_A
17,0	21	42 f_A
18,0	23	46 f_A
19,0	24	48 f_A
20,0	25	50 f_A
21,0	26	52 f_A
22,0	27	54 f_A
23,0	28	56 f_A
24,0	29	58 f_A
25,0	30	60 f_A

Nell'uso di questa tabella, se l'indice di modulazione è un valore frazionario, si usa il numero intero più vicino. Ad esempio, se l'indice di modulazione e 8,25, si usa il numero di bande laterali effettive corrispondente all'indice 8, mentre se l'indice è 8,75, ci si riferisce all'indice 9.

Le medesime relazioni sono illustrate graficamente alla **figura 9**. L'indice di modulazione è qui rappresentato sull'asse orizzontale, mentre l'aumento della ampiezza di banda in corrispondenza della variazione di frequenza tra picco e picco è rappresentato sull'asse verticale. Un indice di modulazione pari a 5 determina un aumento dell'ampiezza di banda di circa 0,6, ossia approssimativamente del 60%. La variazione di frequenza tra picco e picco è 25, ossia 50 kHz. Il 60% di 50 kHz equivale a 30 kHz, e 30 kHz + 50 kHz equivalgono a 80 kHz. Questo è il medesimo valore che si ottiene consultando la tabella. Il grafico è particolarmente utile per il calcolo di valori frazionari e di indici di modulazione inferiori a 0,5 e superiori a 25.

Le bande laterali effettive devono essere distanti dalla frequenza portante almeno quanto i limiti della variazione di frequenza. A causa di ciò, è necessario disporre oltre che di un canale, ossia di un'ampiezza di banda, anche di una banda precauzionale (« guard-band ») che neutralizzi qualsiasi residuo di bande adiacenti in quanto si trova oltre i limiti delle bande laterali.

Dal momento che il segnale modulante non può essere sempre specificato, e può invece variare entro ampi limiti, in sede di assegnazione di canali è più facile assegnare il canale in funzione di *limiti di deviazione*, aggiungendo degli intervalli addizionali ad entrambi i lati onde evitare l'interferenza o la sovrapposizione di bande laterali adiacenti. Il canale prov-

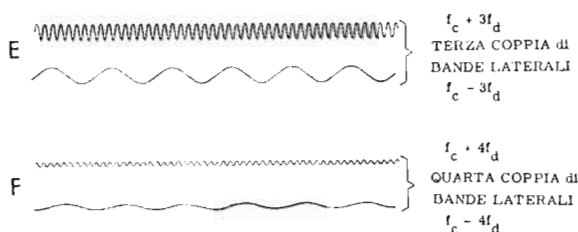



Fig. 8 - In E la terza coppia di bande laterali con le due frequenze estreme, e così pure in F la quarta ed ultima coppia. Le ulteriori coppie non superano il livello dell1% e sono perciò trascurabili.

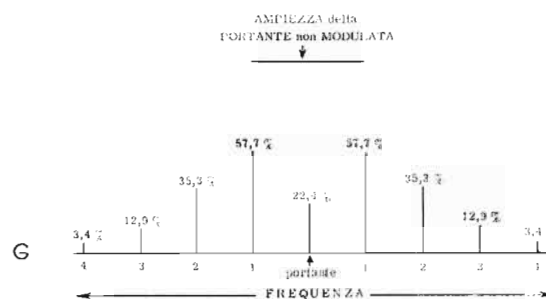



Fig. 8-G Quanto illustrato alle figure 8 precedenti è qui espresso come spettro di frequenza, con la percentuale di ampiezza della portante e delle 4 coppie di bande laterali che distano tra loro 15 kHz.

visto di tali bande laterali assicura un funzionamento privo di interferenze con le frequenze adiacenti. Poichè la frequenza portante centrale di una particolare emittente potrebbe spostarsi dal suo valore causando dette interferenze, le stesse possono essere evitate grazie alle bande precauzionali.

La **figura 10** si riferisce al caso di una modulazione del tipo ad impulsi. Con un'onda ad andamento rettangolare, come quella illustrata in **A**, lo spettro si presenta come nella sezione **B** della medesima figura.

La massima ampiezza di banda richiesta dipende — come ormai sappiamo — dall'indice di modulazione. Il grafico di figura 10 **C** viene usato analogamente a quello della figura 9. Se si conoscono, l'ammontare della deviazione e la frequenza, è facile trovare l'indice di modulazione dividendo la deviazione per la frequenza.

Ad esempio, supponiamo che la deviazione di frequenza di una portante modulata ad impulsi sia di 10 kHz. In altre parole, ogni impulso del segnale modulante sposta la frequenza portandola di colpo ad un valore di 10 kHz in più o in meno (a seconda della polarità). Se la frequenza modulante è di 1.000 Hz, l'indice di modulazione è dato da:

$$\frac{\textit{deviazione}}{\textit{frequenza}} = \frac{10 \text{ kHz}}{1 \text{ kHz}} = 10$$

Una volta individuato sull'asse orizzontale l'indice di modulazione 10, si innalza una perpendicolare da quel punto fino ad incontrare la curva. All'altezza del punto di intersezione, troviamo, sull'asse verticale, che l'allargamento di banda ammonta a circa 2,25.

La deviazione tra picco e picco è pari a 10 volte 2 ossia 20 kHz. L'allargamento di banda è perciò di 20 volte 2,25, ossia 45 kHz.

PREENFASI E DEENFASI

Preenfasi

In un trasmettitore usato per la trasmissione della voce, la variazione di frequenza è la medesima per una data ampiezza, indipendentemente dalla frequenza del segnale modulante. Tuttavia, mentre il segnale passa attraverso il trasmettitore, il ricevitore, e lo spazio che si trova tra i due, una certa quantità di rumore indesiderato e di distorsione si sovrappone al suono che si desidera trasmettere. Tale rumore è distribuito in maniera uniforme attraverso l'intero spettro delle frequenze udibili. Di conseguenza, il rapporto tra il segnale ed il rumore non desiderato diminuisce nelle frequenze più alte in quanto l'ampiezza dei segnali prodotti dalla voce umana in questa gamma non ha l'intensità che hanno invece le frequenze più basse. Oltre a ciò, la distorsione aumenta nella parte più alta dello spettro delle frequenze. Le frequenze più elevate sono quelle che più contribuiscono all'intelligibilità della voce trasmessa, in quanto le consonanti, che ne costituiscono la massima parte, hanno una intensità di picco in questa parte della gamma delle frequenze acustiche.

Per evitare una cattiva riproduzione delle consonanti a causa di un basso rapporto segnale /rumore alle estremità più alte dello spettro, si provvede ad una particolare, ulteriore amplificazione — detta **preenfasi** — per tali frequenze. Il risultato di questo procedimento non deve però provocare suoni non naturali all'atto della ricezione. Per questo motivo, nel ricevitore, si effettua il procedimento inverso, detto **deenfasi**. La combinazione di entrambi i provvedimenti permette un rapporto segnale/rumore maggiormente uniforme sull'intera gamma delle frequenze acustiche.

Un trasmettitore munito del dispositivo di preenfasi ha uno spettro di bande laterali più ampio che non senza. In generale, l'ampiezza di banda nel caso che un segnale vocale determini lo spostamento della frequenza di un trasmettitore del 100% con preenfasi, è superiore di circa un terzo ai limiti di spostamento. Se tale spostamento ammonta, ad esempio, a 75 kHz, l'ampiezza di banda totale (col 100% di modulazione) è di circa 200 kHz (150 più 50).

Il fatto che la preenfasi determini una maggiore ampiezza di banda per un dato spostamento di frequenza, deve sempre essere tenuto in considerazione. Tuttavia, l'eventualità che si manifesti una sovramodulazione non è probabile, in quanto le componenti del segnale a frequenza più elevata sono originalmente deboli, e la preenfasi riesce a stento a portarle al livello dei toni più gravi. Essa non riesce pertanto a causare la sovramodulazione di un trasmettitore a modulazione di frequenza, sebbene i limiti di variazione di frequenza subiscano un aumento. Abbiamo visto che l'ampiez-

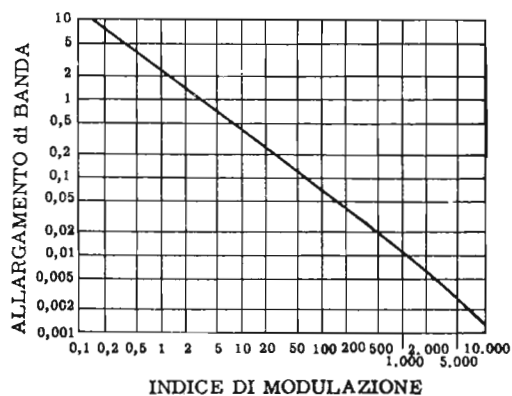



Fig. 9 - Grafico per conoscere l'allargamento di banda in relazione all'indice di modulazione.

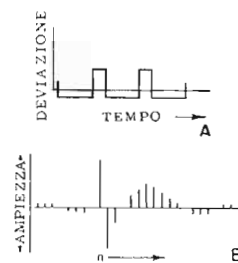



Fig. 10 - In A onda ad andamento rettangolare e, in B, spettro relativo.

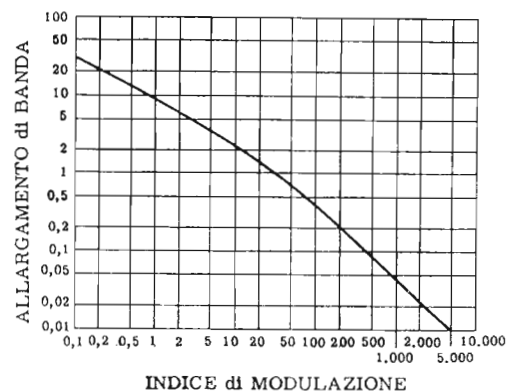



Fig. 10-C - Grafico per conoscere l'allargamento di banda in base all'indice di una modulazione ad impulsi.

za di banda effettiva aumenta con l'aumentare della frequenza del segnale acustico, ed anche che, con lo aumentare del livello della frequenza acustica alta, un numero sempre maggiore delle bande laterali esterne sale al di sopra del margine dell'1%.

Le caratteristiche di preenfasi di un trasmettitore a modulazione di frequenza possono essere specificate mediante un grafico (**figura 11**) che illustra le relazioni tra il segnale acustico d'entrata e l'uscita modulata. La frequenza dello spettro delle audio-frequenze è rappresentata sull'asse orizzontale. Su quello verticale è invece rappresentata l'uscita corrispondente ad una entrata costante rispetto alla frequenza. La curva dimostra che l'uscita resta relativamente costante tra 50 e circa 500 Hz, dopo di che sale rapidamente fino ad un valore di picco corrispondente a 15.000 Hz. Dal momento che tale aumento è specificato in db (decibel), una variazione di 6 db significa il raddoppiamento dell'ampiezza del segnale. Se sul grafico risulta un aumento di circa 18 db da 1.000 a 15.000 Hz, ciò significa che l'ampiezza è stata raddoppiata quasi tre volte. L'uscita risultante a 15 kHz, è di conseguenza « 2 volte 2 volte 2 », ossia $2^3 = 8$ volte l'uscita a 1.000 Hz.

Deenfasi

Nel ricevitore si usa — ripetiamo — un dispositivo che effettua l'operazione inversa alla preenfasi, detta deenfasi, in modo tale che il bilanciamento originale tra le frequenze alte e basse della voce non risulti alterato. Le caratteristiche della preenfasi e della deenfasi vengono normalmente ottenute mediante la combinazione di componenti di natura resistiva, capacitiva ed induttiva, inseriti in modo da determinare i rapporti desiderati tra le tensioni di ingresso e di uscita del filtro. Le caratteristiche della voce umana sono molto complesse, per cui i filtri scelti costituiscono un compromesso tra la duplicazione dell'esatto ammontare di perdita alle frequenze più alte e l'uso del minor numero possibile di componenti. Generalmente, i circuiti di preenfasi e di deenfasi sono semplici combinazioni di capacità e resistenze o di induttanze e resistenze.

Dispositivi di preenfasi

Nella sezione **A** della **figura 12** è illustrato un semplice dispositivo di preenfasi consistente in una induttanza ed in una resistenza collegate nel circuito di griglia di una valvola amplificatrice. In questo circuito, la tensione del segnale acustico è applicata ai capi dell'induttanza attraverso una resistenza in serie a quest'ultima; l'uscita viene prelevata ai capi della induttanza stessa. Dal momento che l'impedenza della bobina aumenta con l'aumentare della frequenza — mentre la resistenza resta costante — la tensione presente ai capi dell'induttanza aumenta in corrispondenza. Il rapporto tra l'induttanza la resistenza determina la costante di tempo della combinazione; la caratteristica di preenfasi può essere perfettamente definita in funzione di detta costante di tempo. Se l'induttanza è espressa in henry e la resistenza in Megaohm, la costante di tempo è in microsecondi. Ad esempio, calcoliamo la costante di tempo di un filtro come quello illustrato alla figura 12, contenente una resistenza da 0,1 Mohm, ed una induttanza di 7,5 henry.

$$\text{costante di tempo} = \frac{L}{R} = \frac{7{,}5}{0{,}1} = 75 \text{ microsecondi}$$

Per il rapporto specifico tra induttanza e resistenza della figura 12, il grafico della tensione d'uscita riferita alla tensione di ingresso è illustrato in figura 11.

Dispositivi di deenfasi

Il processo di deenfasi che viene effettuato nel ricevitore, deve presentare caratteristiche perfettamente opposte a quelle della preenfasi. Ciò è ottenuto facendo in modo che la costante di tempo determinata dalla resistenza e dalla capacità della sezione **B** della figura 12 sia eguale a quella del circuito di preenfasi. Dal momento che la reattanza capacitiva diminuisce con l'aumentare della frequenza, la tensione presente ai capi del condensatore diminuisce man mano che la frequenza aumenta. Una volta scelta la costante di tempo adatta, le frequenze più acute vengono riportate al loro livello normale. Se la capacità è espressa in microfarad, e la resistenza in ohm, il prodotto $R \times C$ dà la costante di tempo in microsecondi. Ad esempio, nel circuito della sezione B la capacità è di 0,001 µF, e la resistenza è di 75.000 ohm, per cui la costante di tempo è data da:

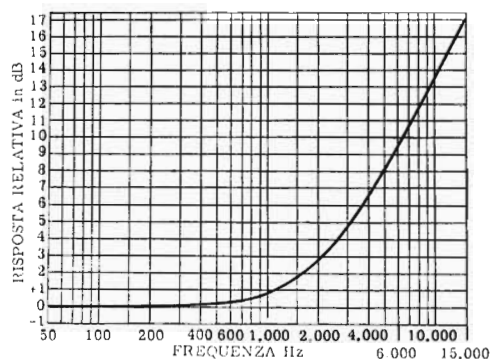



Fig. 11 - Caratteristiche di preenfasi in un trasmettitore. L'uscita a 15.000 Hz è 8 volte più elevata (18 dB) del livello a 1.000 Hz.

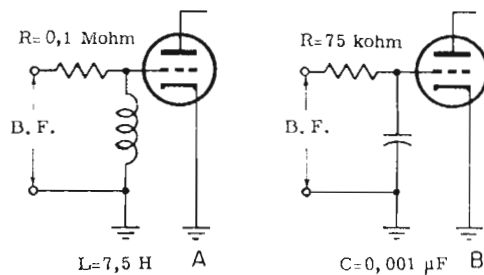



Fig. 12 - In A dispositivo di preenfasi ottenuto con resistenza e induttanza. In B dispositivo di deenfasi da contrapporre alla preenfasi di A (è ottenuto con resistenza e capacità).

costante di tempo = $R \times C$ = 75.000 x 0,001 = 75 microsecondi

ossia è eguale a quella determinata dall'induttanza e dalla resistenza della sezione A della medesima figura (preenfasi).

IL RAPPORTO SEGNALE - RUMORE

Uno dei maggiori inconvenienti della trasmissione di segnali acustici mediante la modulazione di ampiezza e la sensibilità ai rumori sia naturali che artificiali. Alcuni tra gli inconvenienti della modulazione di ampiezza — almeno per ciò che concerne il rumore e le interferenze — possono essere eliminati mediante il sistema a modulazione di frequenza. Per poter meglio comprendere come il sistema di comunicazione che si basa sulla modulazione di frequenza sia preferibile nei confronti del sistema classico a modulazione di ampiezza, dobbiamo analizzare prima il problema dei disturbi.

Sebbene la modulazione di frequenza non sia il sistema più efficace per evitare i rumori, essa costituisce tuttavia uno dei sistemi tra i più semplici. La modulazione mediante brevi impulsi di energia è maggiormente efficiente, ad esempio, ma i trasmettitori sono molto più complessi che non quelli usati per la modulazione di frequenza.

La maggior parte dei radiodisturbi si divide in due categorie principali: disturbi ad impulsi, e disturbi intermittenti. I primi consistono in rapidi impulsi di tensione a radiofrequenza che, allorchè vengono rivelati in un ricevitore, assumono le caratteristiche di frequenze acustiche ad impulsi. Essi sono spesso di ampiezza centinaia di volte maggiore di quella del segnale acustico, per cui rendono impossibile la ricezione di quest'ultimo.

Le fonti più comuni di tali rumori sono i dispositivi di accensione dei motori a scoppio; per quanto si prendano provvedimenti per eliminarli, non è tuttavia possibile escluderli completamente. Esiste infatti una componente di rumore residuo che può costituire grave difficoltà di ricezione se i segnali captati sono deboli.

Il secondo tipo di disturbo, detto fluttuante, ha un carattere di maggiore persistenza. Esso si manifesta come un'ampia gamma di impulsi diversi, aventi tra loro una relazione minima o addirittura nulla. Generalmente, questi disturbi hanno origine dalle macchine elettriche rotanti, da rettificatori con valvole a gas, da linee di distribuzione dell'energia elettrica ad Alta Tensione o di trasmissione, o da altri dispositivi analoghi. Il rumore determinato da un piccolo motore elettrico, sebbene sia spesso notevolmente meno intenso del segnale che si desidera ricevere, può tuttavia causare gravi ed insopportabili disturbi che possono impedire o quanto meno peggiorare la ricezione.

Detti disturbi possono giungere al ricevitore in vari modi: per propagazione, o tramite accoppiamenti capacitivi esistenti tra l'antenna del ricevitore ed il dispositivo che li produce. Le linee di distribuzione dell'energia elettrica, alle quali sono collegati dispositivi che producono disturbi, se si trovano in prossimità di un'antenna possono indurre in quest'ultima dei segnali corrispondenti ai disturbi stessi. Diversamente, questi possono essere ricevuti anche direttamente, attraverso la linea di alimentazione.

I disturbi fino ad ora descritti non sono distribuiti uniformemente lungo lo spettro delle frequenze. I disturbi ad impulsi sono particolarmente fastidiosi nella gamma di frequenze compresa tra i 15 e 160 MHz: i disturbi fluttuanti sono invece maggiormente presenti sulle frequenze più basse, in quanto raggiungono la massima intensità su frequenze molto inferiori a 20 MHz.

Il rumore è particolarmente dannoso se la frequenza è tale da mettere in risonanza elettrica il dispositivo che lo produce. In tal caso quest'ultimo funziona come una vera antenna trasmittente.

Ad esempio, le automobili, le cui dimensioni si approssimano alla metà della lunghezza d'onda nella gamma dei 30 MHz, causano nella medesima gamma i loro più intensi disturbi dovuti al sistema di accensione a spinterogeno, ossia a scintilla. Il rumore prodotto invece dalla scarica elettrica attraverso un gas, come nei classici raddrizzatori a vapore di mercurio, ed altri dispositivi analoghi, ha uno spettro che si estende fino alle frequenze più alte con notevole intensità; spesso tali disturbi non possono essere eliminati a causa della impossibilità di effettuare una accurata schermatura.

I disturbi naturali che possono compromettere una

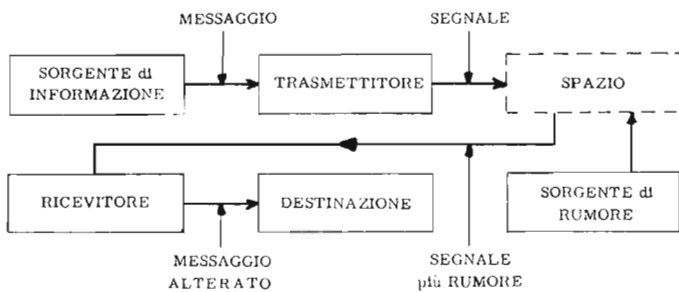



Fig. 13 - Schema a blocchi di un sistema di comunicazioni, ove è in evidenza come venga ad introdursi il fattore rumore che altera la fedeltà dell'informazione.

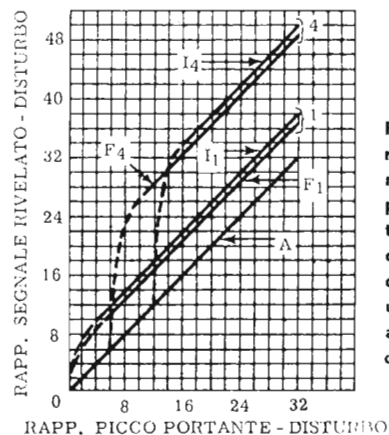



Fig. 14 - Andamento del rapporto segnale - rumore rispetto al rapporto ampiezza di picco della portante-rumore, per indice di modulazione 1 e 4. La diagonale A, inserita per un confronto, è relativa all'andamento con la modulazione d'ampiezza.

radiotrasmissione possono verificarsi per vari motivi, ed appartengono qualitativamente ad entrambi i tipi descritti. La causa più comune è da ricercarsi probabilmente nelle scariche elettriche che avvengono nello spazio sotto forma di fulmini. Questi ultimi producono disturbi percepibili anche a migliaia di chilometri di distanza, in quanto si propagano in modo analogo alle radioonde. L'intensità del segnale prodotto da perturbazioni atmosferiche locali diminuisce in maniera direttamente proporzionale all'aumento della frequenza; inoltre, le frequenze al di sopra di 40 MHz sono meno soggette a tale tipo di interferenza che non quelle inferiori.

Poichè le perturbazioni temporalesche sono più intense in estate che in inverno, è logico dedurre che durante la stagione invernale il livello di tali disturbi è minore.

Esistono altre cause di disturbi la cui origine è extraterrestre (rumore cosmico) attribuiti, ad esempio, alle macchie solari. Naturalmente, non essendo possibile sopprimerli all'origine, è necessario ricorrere ad altri sistemi per evitarli.

Un fattore che limita la sensibilità dei ricevitori per altissime frequenze è il rumore di fondo che si produce nel ricevitore stesso in seguito ad agitazione termica, ed alla corrente delle valvole. Questo rumore produce una specie di soffio sia nell'altoparlante che nella cuffia.

Un sistema generale di comunicazioni è schematizzato nella **figura 13**. La sorgente dei segnali fornisce delle oscillazioni che vengono convertite in impulsi elettrici. Questi, a loro volta, vengono trasformati in segnali le cui caratteristiche ne permettono l'irradiazione attraverso lo spazio, fino a raggiungere il ricevitore. Qui essi sono rivelati dando luogo alla riproduzione del suono originale. Nel corso della trasmissione, il segnale può subire delle modifiche dovute all'aggiunta di rumori, per cui il ricevitore non è più in grado di ricostruire alla perfezione il segnale originale. Tuttavia, in un sistema a modulazione di frequenza, se la variazione della frequenza stessa viene aumentata al di sopra di un rapporto minimo segnale/rumore, il grado di fedeltà di riproduzione aumenta.

L'effetto delle cause di disturbi nei confronti della modulazione di frequenza è sostanzialmente diverso rispetto all'effetto prodotto sulla modulazione di ampiezza. Gli impulsi di rumore fluttuante eccitano i circuiti sintonizzati del ricevitore, facendo in modo che essi oscillino sulla loro frequenza di risonanza. Tali oscillazioni interferiscono con la portante, determinando la presenza di rumori spuri all'uscita dello stadio rivelatore, dopo di che diminuiscono gradatamente fino all'impulso successivo. Il rumore ad impulsi è più che altro un disturbo che varia l'ampiezza del segnale, e viene eliminato dallo **stadio rivelatore**, il quale, nei ricevitori per F.M., **non è sensibile alle variazioni di ampiezza della portante**.

Se il segnale a frequenza modulata è molto debole rispetto al rumore, le bande laterali contenenti il segnale acustico vengono soppresse dallo stadio rivelatore. Di conseguenza, se la portante non supera una determinata intensità, la modulazione di frequenza è praticamente inferiore alla modulazione di ampiezza. Il valore minimo necessario è denominato **soglia di livello utile**, e dipende dalla variazione di frequenza. La modulazione di frequenza ha un rendimento migliore della modulazione di ampiezza solo quando il segnale è superiore al valore minimo di soglia.

La **figura 14** illustra il rapporto segnale-rumore rappresentato in senso verticale, in funzione del rapporto ampiezza massima della portante-rumore. Per un confronto è riportata una linea retta, diagonale (A) che rappresenta l'andamento nel sistema a modulazione di ampiezza. Per un indice di modulazione pari a 1, le linee tratteggiate indicano il miglioramento del rapporto segnale/rumore rispetto alla modulazione di ampiezza. La più bassa delle due, contrassegnata F_1, rappresenta il miglioramento rispetto ai rumori fluttuanti, mentre la più alta, I_1, rappresenta il miglioramento rispetto al rumore ad impulsi. Le altre linee rappresentano la medesima situazione per un indice di modulazione pari a 4. Il miglioramento ha inizio nel punto in cui la portante ha un'intensità sufficiente affinchè la curva attraversi la linea di riferimento della modulazione di ampiezza.

Per quanto tale analisi si riferisca a modulazioni sinusoidali, è sufficientemente approssimata anche nel caso di modulazioni con onde sonore di forma varia.

RICEVITORI per MODULAZIONE di FREQUENZA

I vantaggi più importanti conseguiti mediante la trasmissione a Modulazione di Frequenza consistono, come abbiamo visto, nella eliminazione quasi completa dei disturbi, sia terrestri che atmosferici, nonchè in una maggiore fedeltà di riproduzione.

Per fedeltà si intende, particolarmente in questo caso, la misura dell'attitudine, la parte del circuito demodulatore del ricevitore, a riprodurre i suoni trasmessi: ciò implica naturalmente un adeguato funzionamento di tutti gli stadi precedenti il demodulatore e, ovviamente, anche degli stadi dell'amplificatore di Bassa Frequenza. In effetti, è necessario che il ricevitore abbia una banda passante sufficientemente larga (canale di Media Frequenza in particolare) per consentire il passaggio e l'amplificazione indistorta di tutte le note acustiche, fondamentali o armoniche, contenute nel suono originale che costituisce la modulazione della portante. Nella trasmissione a modulazione di ampiezza — come sappiamo — la massima frequenza acustica che è concesso trasmettere, e quindi riprodurre, è di 4,5 kHz: nella modulazione di frequenza si può giungere a ben 15 kHz. Ciò dimostra che, nel secondo caso, la fedeltà ottenibile è di gran lunga più soddisfacente. Per questo motivo il sistema F.M. ha visto una rapida e notevole affermazione, e si può dire che nel giro di pochi anni abbia raggiunto senz'altro un campo di applicazione pari a quello del vecchio sistema A.M.

L'AMPLIFICAZIONE a RADIOFREQUENZA in F.M.

Scopo principale degli stadi di amplificazione a radiofrequenza è quello di aumentare il rapporto segnale-rumore. Esistono vari circuiti le cui caratteristiche permettono di ottenere buoni risultati, anche agli effetti della stabilità di accordo. Dal momento che lo stadio amplificatore a radiofrequenza riceve, ovviamente, segnali più deboli che non qualsiasi altro stadio del ricevitore — e in considerazione, inoltre, della sua posizione all'entrata del ricevitore — è logico che ogni perturbazione che in esso avviene si ripercuota con maggior danno negli stadi seguenti. Lo stadio in questione, più che di amplificare deve essere in grado, sopratutto, di eliminare le interferenze di immagine e le altre frequenze non desiderate. In particolare — poichè, trattandosi nella generalità dei casi di ricevitore supereterodina, si ha un oscillatore locale che può causare notevoli interferenze — occorre prevedere adeguate misure onde eliminare all'origine disturbi, evitandone la irradiazione, e ciò si ottiene appunto, anteponendo allo stadio convertitore, uno stadio amplificatore a radiofrequenza. Questo accorgimento è particolarmente utile nei casi in cui diversi ricevitori debbano funzionare a breve distanza tra loro.

L'amplificazione ed il rumore

Nessuno stadio amplificatore può distinguere il segnale di rumore — presente nella banda passante — dai segnali utili; lo stadio amplifica perciò entrambi i segnali in modo uniforme. Infine, dato che i disturbi non hanno una fase costante, essi generano, di volta in volta, (come si è spiegato nella lezione 73ª, al paragrafo «preenfasi e rapporto segnale-disturbo») dei battimenti vari di disturbo, che vengono anch'essi amplificati. Gli stadi successivi del ricevitore amplificano il rumore presente nel primo stadio e ne aggiungono a loro volta, del loro. E' però, in genere, il primo stadio a determinare il livello complessivo del rumore: basta infatti un guadagno di 5 volte nel rapporto segnale/disturbo ottenuto nel primo stadio, per diminuire il rumore introdotto successivamente dallo stadio convertitore; un guadagno di 10 nel primo stadio rende addirittura trascurabile il rumore generato dallo stadio convertitore.

CIRCUITI di AMPLIFICAZIONE a RADIOFREQUENZA

Gli stadi di amplificazione a radiofrequenza dei ricevitori F.M. funzionano in classe A (cioè senza corrente di griglia), e sono collegati in vario modo: catodo a massa, (ossia secondo il sistema convenzionale), griglia a massa, e placca a massa (ossia con accoppiamento catodico detto « cathode follower »). Tali collegamenti, oltre che per i triodi, valgono anche per i pentodi e per i tetrodi, in quanto la griglia schermo e le altre griglie agli effetti della radiofrequenza, sono normalmente al potenziale di massa.

Conosciamo già il circuito di ingresso di uno stadio amplificatore a radiofrequenza, e sappiamo che esso consiste in un trasformatore che ha il compito di adattare l'impedenza dell'antenna a quella di ingresso della valvola.

Nella modulazione di frequenza, il conduttore che dall'antenna va al ricevitore, detto anche linea di antenna, può essere del tipo *coassiale* oppure a *linee parallele*. Vedremo ciò in dettaglio alla lezione riservata alle antenne. Diciamo intanto che, nel primo caso, il con-

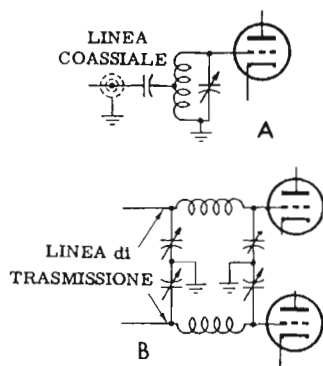



Fig. 1 - Circuiti di ingresso di amplificatori a radiofrequenza.

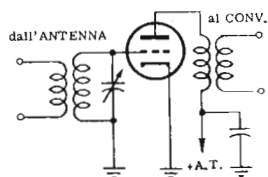



Fig. 2-A - Amplificatore con catodo a massa. Con triodi il rapporto segnale-disturbo è buono: occorre la neutralizzazione. Con pentodi detto rapporto è scadente.

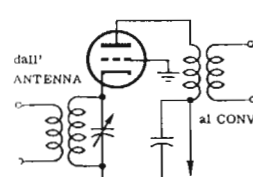



Fig. 2-B - Amplificatore con griglia a massa. Evita la neutralizzazione nel caso del triodo: l'amplificazione però, è minore di quella del circuito di Fig. 2 A.

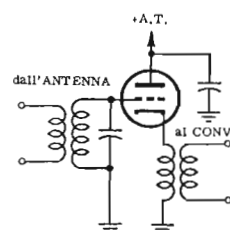



Fig. 2-C - Amplificazione con placca a massa (per la radiofrequenza). Non offre guadagno, ma è molto utile per la bassa impedenza d'uscita, e viene spesso adottato.

duttore esterno è a potenziale di massa e il circuito di ingresso non è bilanciato, mentre nel secondo caso, le tensioni presenti nei due conduttori paralleli sono eguali e sfasate tra loro di 180°, e rispetto a massa, sfasate di 90°.

Agli effetti della selettività, occorre tener presente che — a differenza di ciò che avviene con la modulazione di ampiezza — nella modulazione di frequenza i circuiti di sintonia devono permettere il passaggio non solo della portante, ma anche delle sue deviazioni attorno alla frequenza nominale. In altre parole, la selettività relativa dei circuiti sintonizzati deve essere minore che non per la modulazione di ampiezza.

Allo scopo di raggiungere la giusta selettività, anche in questo caso, naturalmente, il grado di accoppiamento tra primario e secondario assume un ruolo di notevole importanza.

La **figura 1** illustra due circuiti di ingresso per amplificatori a radiofrequenza: uno è del tipo non « bilanciato », ossia a linea coassiale (A), l'altro è del tipo « bilanciato », cioè a linea di trasmissione (d'entrata) parallela (B). Ne esistono però altri ancora, che conosceremo in seguito.

Alla **figura 2** sono illustrati i tre tipi principali di amplificatori a radiofrequenza.

Il circuito della sezione **A**, con catodo a massa, è a noi ormai familiare. Esso può fare uso, per l'ingresso, delle linee bilanciate, o meno, viste alla figura 1: per l'uscita, invece, vi è il prelievo a mezzo di un circuito risonante collegato in serie alla placca. In questo caso è indispensabile neutralizzare le capacità interelettrodiche onde evitare oscillazioni. Il rapporto segnale-rumore è elevato se si usa un triodo, mentre è scadente — particolarmente nei confronti dei circuiti che citeremo in seguito — se si usa un pentodo.

Il circuito della sezione **B**, con griglia a massa, permette l'uso del triodo senza necessità di neutralizzazione; tuttavia, il rendimento è inferiore rispetto al circuito già visto, a causa della minore amplificazione.

Il terzo sistema infine, con accoppiamento catodico, illustrato nella sezione **C**, ha sempre un coefficiente di amplificazione addirittura inferiore all'unità; ciò significa che — praticamente — la sua adozione comporta una lieve attenuazione. L'impedenza d'uscita è notevolmente bassa, contrariamente a quella di entrata. Un tale stadio, nonostante non apporti amplificazione, viene spesso adottato, appunto per queste sue prerogative; ha inoltre, il vantaggio di evitare le oscillazioni parassite, e presenta una grande stabilità: viene ampiamente impiegato sia nei ricevitori commerciali che nei ricevitori televisivi.

Esistono anche circuiti di amplificazione a radiofrequenza a due valvole, funzionanti in opposizione di fase, che possono essere realizzati con i tre sistemi ora descritti: nella maggior parte dei casi il sistema preferito è quello che prevede il collegamento a massa di entrambe le griglie. Nei casi in cui si desidera una forte preamplificazione a radiofrequenza, si possono usare anche due stadi in cascata, con vari circuiti; sul loro funzionamento non ci dilungheremo in quanto esso è analogo a quello descritto a suo tempo a proposito del funzionamento della valvola come amplificatrice a radiofrequenza nel campo della normale modulazione di ampiezza.

Gli STADI MESCOLATORI e CONVERTITORI

Come già sappiamo, il convertitore di frequenza di un ricevitore supereterodina provoca un battimento tra il segnale proveniente dall'antenna (eventualmente amplificato dallo stadio amplificatore a radiofrequenza) e l'oscillazione prodotta dall'oscillatore locale.

La mescolazione, ricordiamo, origina due battimenti di frequenza, uno pari alla somma e l'altro alla differenza delle frequenze in gioco. Di norma, viene usato come Media Frequenza il battimento corrispondente alla differenza. Dal momento che le oscillazioni prodotte nel ricevitore sono di ampiezza molto maggiore di quelle provenienti dall'aereo, la percentuale di modulazione (modulazione presente solo nel segnale in arrivo) del segnale di Media Frequenza risultante è bassa; ciò impedisce la formazione di bande laterali spurie. Nel caso che l'oscillatore locale generi delle armoniche, il circuito accordato di entrata evita la irradiazione di battimenti spuri a Media Frequenza. Gli stadi mescolatori possono essere di vari tipi:

Mescolatore a diodo. Il circuito è illustrato alla **figura 3**. Esso è utilizzato solo per la ricezione di frequenze molto elevate (UHF). Può funzionare sfruttando le armoniche di un oscillatore locale di frequenza relativamente bassa, vale a dire assai inferiore a quella della portante del segnale da ricevere. Questa condizione

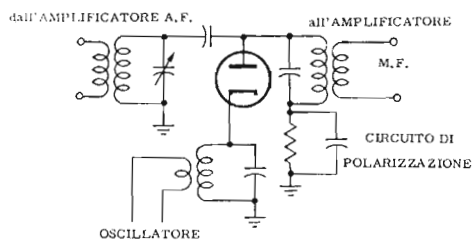



Fig. 3 - Stadio mescolatore a diodo. E' adatto alla ricezione di frequenze molto alte: l'oscillazione locale può essere però a frequenza assai più bassa di quella entrante. Presenta l'inconveniente di irradiare onde di disturbo.

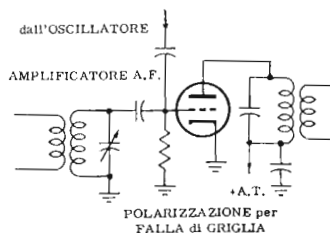



Fig. 4-A - Mescolatore a triodo nel quale il segnale dell'oscillatore locale viene introdotto sulla griglia.

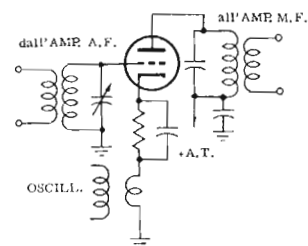



Fig. 4-B - Qui il segnale dell'oscillatore è accoppiato induttivamente sul catodo, con miglioramento della stabilità.

di lavoro è quella attuata nella pratica corrente. Il pregio del convertitore a diodo, specie se il diodo è un cristallo semiconduttore, è quello di avere un basso rumore, grazie all'assenza, in quest'ultimo caso, del filamento, e quindi del ronzio dovuto alla corrente alternata di accensione.

Dato lo scarso disaccoppiamento tra il circuito dell'oscillatore ed il circuito d'ingresso, si ha una notevole irradiazione del segnale dell'oscilatore locale.

Il segnale proveniente dall'oscillatore locale viene rettificato dal diodo: la corrente dovuta alla tensione del segnale dell'oscillatore scorre, in seguito alla rettificazione, a semiperiodi attraverso il diodo stesso. Un circuito accordato, posto in serie al catodo, ristabilisce la sinusoidalità del segnale a Media Frequenza, mentre la capacità propria del circuito costituisce una via di passaggio, o meglio di fuga, a massa, per la componente ad Alta Frequenza e per il battimento a frequenza somma, che non interessano. Data la pur minima capacità esistente tra catodo e filamento, spesso è necessario inserire delle impedenze per Alta Frequenza in serie ai collegamenti del filamento, onde evitare che le oscillazioni, tramite tale capacità, vengano convogliate a massa. Praticamente, il diodo agisce sia da modulatore che da organo di accoppiamento dei due segnali: nel suo circuito anodico, secondo la tecnica abituale, un apposito trasformatore preleva il battimento a Media Frequenza e lo trasferisce agli stadi successivi per l'ulteriore amplificazione.

Mescolatore a triodo. La **figura 4** illustra i due tipi di circuito normalmente impiegati secondo questo sistema. La differenza tra i due circuiti consiste nella soluzione adottata per l'accoppiamento dell'oscillatore locale.

Nella sezione **A**, l'oscillatore è accoppiato mediante una capacità connessa alla griglia, mentre nella sezione **B**, è accoppiato mediante un trasformatore in serie al circuito catodico, così come abbiamo visto per il mescolatore a diodo. Il secondo sistema permette una maggiore stabilità di funzionamento, grazie alla minore impedenza del circuito interessato.

In tutti e due i casi il battimento avviene per il fatto che entrambi i segnali determinano variazioni nella corrente anodica della valvola: di conseguenza, ai capi del circuito sintonizzato collegato in serie alla placca, è presente la tensione del battimento a Media Frequenza che viene trasferita allo stadio seguente, come sempre, tramite un trasformatore.

Mescolatore a doppio triodo. Il circuito in controfase con catodo a massa è molto usato per frequenze fino a 600 MHz. Come si vede nella **figura 5**, l'oscillatore viene accoppiato induttivamente al circuito di ingresso. Il vantaggio di questo sistema consiste nel fatto che, sia la frequenza dell'oscillatore locale, che quella del segnale in arrivo, vengono completamente eliminate nel circuito di placca grazie all'opposizione di fase, a vantaggio del rapporto segnale-rumore e della stabilità. Un altro circuito a doppio triodo è illustrato nella **figura 6**; in esso, l'accoppiamento tra le due frequenze avviene in quanto il catodo è in comune. Grazie alla notevole indipendenza tra l'oscillatore ed il circuito di ingresso, non vi è pericolo di oscillazioni parassite. Anche questo circuito permette di ottenere una buona stabilità di funzionamento.

Mescolatore a pentodo. Il circuito di **figura 7** è uno dei più usati nei ricevitori commerciali per F.M., in quanto, oltre alla necessaria stabilità, permette una notevole amplificazione. La tensione di rumore prodotta è il doppio di quella generata da un triodo avente la medesima trasconduttanza, tuttavia, la presenza della griglia schermo attenua la capacità tra griglia e placca evitando le oscillazioni parassite.

Col circuito a pentodo sarebbe possibile iniettare sul catodo il segnale dell'oscillatore locale mediante un trasformatore; tale sistema comporterebbe però un aumento dell'induttanza del circuito di catodo, e quindi un aumento del tempo di transito nella valvola, con conseguente perdita sul circuito anodico.

Mescolatori con valvola multigriglia. Un circuito di questo tipo è illustrato alla **figura 8**. L'inconveniente dei convertitori multigriglia è rappresentato dal loro maggiore rumore che la elevata amplificazione del segnale di ingresso non riesce completamente ad eliminare. Gli inconvenienti più gravi derivano dall'accoppiamento della griglia pilota con la griglia collegata all'oscillatore attraverso la capacità interelettrodica. Ciò riduce il coefficiente di amplificazione, e rende necessaria la aggiunta di una piccola capacità di neutralizzazione tra tali elettrodi.

Anche per la modulazione di frequenza è possibile realizzare stadi che incorporano l'oscillatore ed il me-

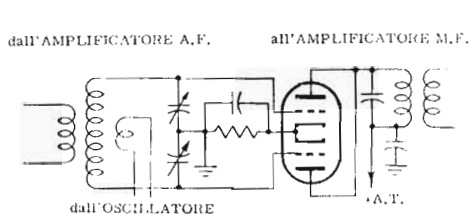



Fig. 5 - Mescolatore a doppio triodo: offre il vantaggio di un buon rapporto segnale-rumore data l'eliminazione, nel circuito di placca, della frequenza entrante e della oscillazione locale.

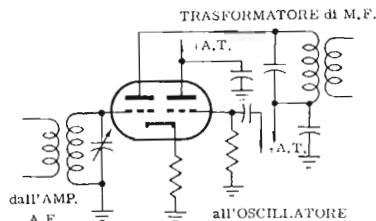



Fig. 6 - Altro mescolatore a doppio triodo. Oscillatore e circuito di ingresso sono molto indipendenti, da cui una buona stabilità di funzionamento.

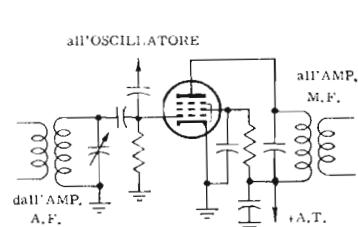



Fig. 7 - Mescolatore a pentodo. Nonostante un fattore rumore elevato è molto usato nei ricevitori per l'amplificazione e per la stabilità che consente.

scolatore in una valvola, come abbiamo visto a proposito della modulazione di ampiezza.

Un circuito tipico è illustrato alla **figura** 9. Lo stadio oscillatore consiste in un circuito « Hartley » che si basa sulla reciproca influenza tra il catodo e la prima griglia: le oscillazioni così provocate determinano, a loro volta, variazioni nella corrente anodica, variazioni che si sovrappongono a quelle causate dal segnale proveniente dell'amplificatore a radiofrequenza e applicato alla terza griglia. Il battimento risultante a Media Frequenza è presente, secondo la tecnica usuale, ai capi del primario sintonizzato del trasformatore a Media Frequenza posto in serie all'anodo.

L'Oscillatore

La stabilità dello stadio oscillatore ha importanza fondamentale in tutti i ricevitori supereterodina, ma tale importanza si accresce nei ricevitori per Modulazione di Frequenza. Poichè il battimento, vale a dire il valore della Media Frequenza prescelta, è basato in genere su 10,7 MHz, ed è ottenuto per differenza tra il segnale dell'oscillatore e quello di antenna, risulta ovvio che la gamma di lavoro dell'oscillatore — stanti le assegnazioni internazionali per le emissioni di radiodiffusione in F.M. (87,5 - 100 MHz) — dovrà essere compresa tra 98,2 e 110,7 MHz. Con valori così elevati la stabilità della frequenza generata dipende per lo più dalla costanza della temperatura, dalla stabilità delle tensioni di alimentazione, nonchè dalla assenza di vibrazioni meccaniche nei circuiti componenti l'oscillatore. I circuiti oscillatori di funzionamento più soddisfacente sono quelli nei quali l'influenza delle capacità interelettrodiche della valvola oscillatrice sul valore della frequenza generata sono minime.

Il circuito di uso più comune è l'oscillatore « Colpitts » convenzionale, o alcune derivazioni del medesimo. In questo circuito, l'accoppiamento reattivo avviene — come sappiamo — mediante due condensatori in serie che, a loro volta, sono in parallelo alla capacità interelettrodica della valvola. Il valore massimo della capacità in serie è determinato dal valore necessario dell'impedenza di carico del circuito oscillatore, nel quale si verificano le oscillazioni. Per evitare gli inconvenienti che derivano dall'uso di capacità piccole, (maggiore instabilità di frequenza) si usa spesso il circuito oscillatore «Clapp» — derivato dal «Colpitts» — nel quale i condensatori in serie fanno parte del circuito oscillatore, e la sintonia viene ottenuta mediante la variazione di una piccola capacità in serie alla bobina. Questo sistema permette una buona stabilità in quanto non è praticamente influenzato dalle variazioni della capacità d'ingresso della valvola. Entrambi i circuiti hanno tuttavia lo svantaggio di consentire una gamma di sintonia ristretta, a causa della capacità minima del condensatore variabile. Nei casi in cui è indispensabile disporre di una gamma di sintonia più ampia, si preferisce l'uso dei circuiti « Hartley » e « Armstrong », anche se meno stabili.

Le cause di instabilità — come abbiamo detto — possono essere elettriche, meccaniche e termiche. Le prime possono essere imputate alle eventuali variazioni della tensione di alimentazione, sia anodica che di accensione, in quanto la frequenza di funzionamento è in relazione a dette tensioni oltre che alle caratteristiche del circuito oscillante. L'inconveniente può essere evitato mediante l'uso di opportuni stabilizzatori di tensione. Le variazioni meccaniche sono da individuarsi nelle variazioni infinitesimali delle dimensioni e della distanza tra i componenti, dovute alla presenza di vibrazioni. L'unico rimedio consiste nell'uso di componenti robusti e rigidi, montati su supporti antivibranti. Le variazioni termiche infine, sono imputabili, come la parola stessa dice, alle variazioni di temperatura, dovute al calore sviluppato dalle valvole, dal trasformatore di alimentazione, ecc. La tecnica moderna ha posto dei rimedi a quest'ultimo inconveniente mediante la costruzione di condensatori ceramici detti a « basso coefficiente di temperatura », relativamente insensibili alle variazioni di quest'ultima.

Un'ulteriore causa di instabilità è la presenza di umidità, alla quale si può ovviare imbevendo le parti componenti dei circuiti oscillanti di sostanze anigroscopiche, oppure ponendo questi ultimi in involucri a chiusura ermetica.

L'AMPLIFICATORE a MEDIA FREQUENZA

Poichè la tensione uscente dallo stadio convertitore è dell'ordine dei microvolt, mentre quella richiesta dal rivelatore per un funzionamento corretto e lineare è di qualche volt, risulta chiaro che l'amplificatore a Me-

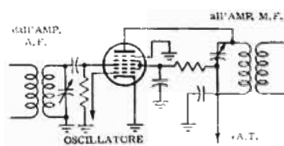



Fig. 8 - Mescolatore a valvola multipla.

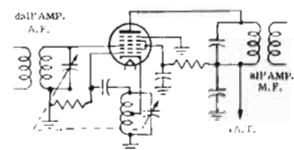



Fig. 9 - Oscillatore e mescolatore a valvola unica.

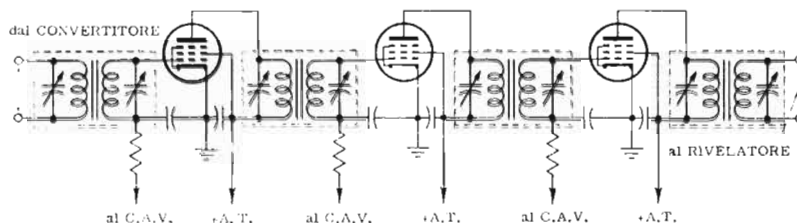



Fig. 10 - Amplificatore di media frequenza, a tre stadi. Comporta otto circuiti sintonizzati e la curva di responso finale deriva dalla sovrapposizione delle curve di tali circuiti. Ogni stadio restringe l'ampiezza di banda, vale a dire, aumenta la selettività.

dia Frequenza deve amplificare il segnale da 100.000 ad 1.000.000 volte. Ciò è ottenuto con un numero di stadi amplificatori, variabile a seconda della classe del rivelatore. Come nella normale supereterodina A.M., l'amplificatore a Media Frequenza determina anche qui il grado di selettività del ricevitore: esso deve consentire l'amplificazione indistorta della sola gamma di frequenze che interessano la stazione sintonizzata, eliminando le frequenze immagine o le interferenze dovute a trasmettitori che funzionano su canali adiacenti a quello su cui è sintonizzato il ricevitore.

La selettività di un amplificatore a Media Frequenza è determinata dalla larghezza della sua banda passante, cioè dalla gamma di frequenze maggiormente amplificata. Per ottenere l'amplificazione necessaria con una larghezza di banda sufficiente, è necessario l'uso di almeno due o tre stadi.

La **figura 10** illustra appunto un amplificatore di Media Frequenza a tre stadi. Ognuno degli otto circuiti sintonizzati presenti tra l'uscita del mescolatore e l'ingresso del rivelatore ha una curva di risposta del tipo a « campana » a noi già nota.

Il responso dell'intero amplificatore risulta dalla sovrapposizione delle curve dei singoli circuiti accordati. La larghezza di banda presente sul picco della curva di ogni circuito dipende dal Q del circuito stesso, secondo la seguente relazione:

$$\text{ampiezza di banda in kHz} = \frac{\text{freq. centrale in kHz}}{Q}$$

Quando si usano due circuiti sintonizzati di eguale Q, accoppiati al punto critico, la banda passante dei due circuiti presi complessivamente risulta più stretta delle bande passanti dei circuiti singoli.

Si supponga infatti, che ognuno degli otto circuiti accordati attenui di 3 dB una frequenza che dista 50 kHz dalla portante; l'attenuazione finale di questa frequenza risulterà:

$$3 \times 8 = 24 \text{ dB}$$

Ciò illustra come l'ampiezza di banda si restringa all'aumentare del numero di stadi, il che equivale a dire che la selettività aumenta col crescere di questi ultimi.

Nei ricevitori a Modulazione di Frequenza adatti alla ricezione di frequenze relativamente basse, la distanza tra le frequenze delle varie emittenti può scendere fino a 50 kHz. Allo scopo di evitare interferenze all'atto della ricezione, è necessaria allora una notevole selettività: è da tenere presente che l'aumento di selettività di uno stadio ne aumenta contemporaneamente il fattore di amplificazione. A causa delle difficoltà derivanti dalle reazioni induttive e capacitive e dalla instabilità, esiste un limite all'amplificazione che può essere ottenuta mediante un amplificatore a Media Frequenza.

Raramente è possibile ottenere una selettività sufficiente ad eliminare la frequenza immagine mediante l'uso di un solo stadio di amplificazione a Media Frequenza, ed è inoltre necessario avere una amplificazione elevata.

Vi sono ricevitori in cui la conversione di frequenza viene eseguita due volte: in tali apparecchi, detti a *doppia conversione* l'amplificatore a Media Frequenza viene diviso in due sezioni funzionanti su due frequenze diverse in seguito alla presenza di un secondo convertitore, analogo al primo. Ciò riduce il pericolo di instabilità. La prima sezione a Media Frequenza, funzionante a frequenza più alta, permette più facilmente l'eliminazione dell'interferenza di immagine, mentre la seconda parte, funzionante a frequenza più bassa, consente di raggiungere la selettività necessaria.

Nei ricevitori destinati invece al funzionamento su frequenze molto elevate, a larga banda, la doppia conversione non è indispensabile in quanto è minore, in tal caso, la necessità di separare i canali adiacenti, maggiormente distanti tra loro.

Tuttavia, le caratteristiche dell'amplificatore di Media Frequenza non possono esimersi dal consentire, nello stesso tempo, la necessaria larghezza di banda, un guadagno elevato, e la selettività richiesta per la reiezione dei canali adiacenti.

Un amplificatore di Media Frequenza con accoppiamento a trasformatore come quello illustrato alla figura 10 ha una caratteristica di selettività che dipende dal grado di accoppiamento tra il primario ed il secondario di ogni trasformatore. La **figura 11** illustra la curva di risposta corrispondente a vari gradi di accoppiamento. Dal momento che le bande laterali si estendono ad una distanza considerevole su entrambi i lati della frequenza centrale, è necessario che la curva presenti una parte piatta sulla sommità, il più pos-

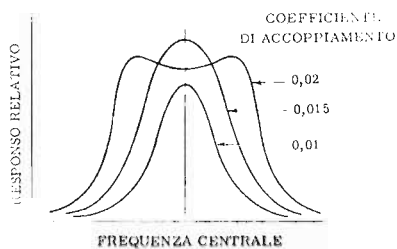



Fig. 11 - Curve di risposta di trasformatori di Media Frequenza, relative a diversi coefficienti di accoppiamento.

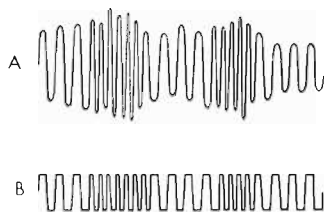



Fig. 12 - In A è la forma dell'onda che ha subito una modulazione di ampiezza, ed in B la forma dopo il passaggio nello stadio limitatore.

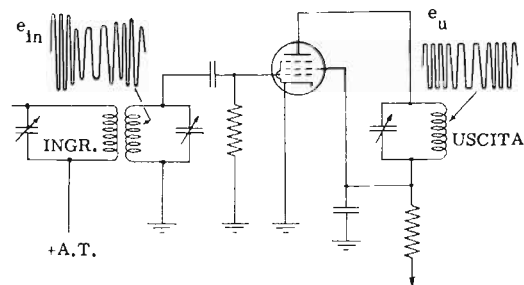



Fig. 13 - Circuito di limitatore. La tensione anodica è volutamente bassa: il segnale di ingresso porta facilmente all'interdizione, il cui effetto sull'onda è visibile all'uscita.

sibile ampia. Oltre a ciò. è necessaria una rapida caduta del responso oltre i limiti della banda passante, onde attenuare i canali adiacenti. Scegliendo il grado opportuno di accoppiamento in modo tale che il coefficiente. « k », sia pari a 0.015, è possibile ottenere in un gran numero di stadi una curva di responso totale nella quale « k » è eguale a 1. Il valore di « k » viene ricavato dalla formula seguente:

$$\textit{coefficiente di accoppiamento, } «k» = \frac{1}{\sqrt{Q_p \times Q_s}}$$

nella quale Q_p e Q_s sono i valori di Q, rispettivamente per il primario ed il secondario. Ad esempio, supponiamo che il primario ed il secondario abbiano il medesimo valore di Q corrispondente a 66,7. Applicando la formula si ha:

$$«k» = \frac{1}{\sqrt{66{,}7 \times 66{,}7}} = 1 : 66{,}7 = 0{,}015$$

Tale circuito ha la caratteristica di responso riportata — in base a tale valore di « k » — alla figura 11.

Sappiamo per quale motivo il funzionamento di un trasformatore di accoppiamento determina il guadagno e la selettività dello stadio. Generalmente, questi trasformatori sono regolabili onde poterli predisporre per il massimo rendimento. Il trasformatore può essere sintonizzato mediante condensatori variabili collegati ai capi delle induttanze fisse primarie e secondarie, oppure i condensatori possono essere fissi, e variabili le induttanze mediante la maggiore o minore introduzione di nuclei ferro-magnetici. L'accoppiamento tra le bobine viene regolato in fase di montaggio, ponendo gli avvolgimenti alla distanza opportuna. I trasformatori funzionanti a frequenze inferiori nella seconda sezione dei ricevitori a doppia conversione sono analoghi.

L'amplificatore a Media Frequenza deve avere la massima selettività, senza però apportare distorsioni alle bande laterali: in altre parole, il responso alla frequenza deve essere assolutamente simmetrico rispetto alla frequenza centrale, onde evitare che una banda venga amplificata più dell'altra. Ciò comporterebbe una notevole distorsione dei segnali a frequenza acustica.

La taratura di un amplificatore a Media Frequenza consiste nell'allineamento di tutti i circuiti accordati dei vari trasformatori interstadio, mediante un procedimento che verrà descritto a suo tempo. Ci basti sapere, per ora, che anch'essa, così come quella della A.M., deve essere eseguita in modo da consentire la massima amplificazione, compatibilmente con le esigenze di selettività e di fedeltà di riproduzione.

Una delle caratteristiche degli stadi di amplificazione a Media Frequenza è la massima stabilità, che viene raggiunta sia con un'accurata costruzione dei componenti, sia con una esatta taratura e con i dovuti accorgimenti di montaggio. E' necessario che tutti i collegamenti siano rigidi, onde non provocare variazioni di capacità tra di essi, a taratura ultimata: variazioni del genere comprometterebbero il responso dei singoli stadi. E' inoltre opportuno evitare gli accoppiamenti parassiti che possono determinare oscillazioni indesiderate, sia su tutta la gamma che su una parte di essa. Vedremo a suo tempo quali sono i provvedimenti necessari.

Lo STADIO LIMITATORE

Il compito dello stadio limitatore consiste nella eliminazione di qualsiasi forma di modulazione di ampiezza; ciò significa che **il segnale che entra nello stadio rivelatore deve avere una ampiezza rigorosamente costante.** Sappiamo che i segnali a modulazione di frequenza emessi dal trasmettitore variano in frequenza conformemente alla modulazione; tuttavia, durante il percorso necessario per raggiungere il ricevitore, essi subiscono delle variazioni di ampiezza dovute alle condizioni di propagazione, nonchè agli agenti esterni che determinano, come abbiamo visto, i vari disturbi. Tali variazioni vengono amplificate negli stadi di conversione e di amplificazione a Media Frequenza, fino allo ingresso dello stadio limitatore. In questo punto la radio frequenza modulata si presenta come nella sezione **A** della **figura 12**. La sezione **B** illustra invece l'aspetto del segnale all'uscita dello stadio limitatore.

La **figura 13** è relativa al circuito di un limitatore a falla di griglia: si tratta di un pentodo a pendenza elevata, polarizzato per corrente di griglia. Dal momento che le tensioni di placca e di schermo sono volutamente basse, il valore di polarizzazione che determina l'interdizione della corrente anodica viene raggiunto facilmente allorchè il segnale di ingresso ha una ampiezza di qualche volt. Il funzionamento può essere compreso facilmente osservando il grafico della **figura 14**: il tipo

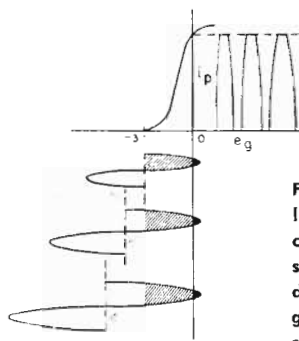



Fig. 14 - Grafico relativo al limitatore della figura precedente. I picchi positivi del segnale entrante (in basso) determinano corrente di griglia. La corrente di placca scorre per quasi tutto il semiperiodo positivo ed è costante: ne deriva l'uscita visibile in alto a destra.

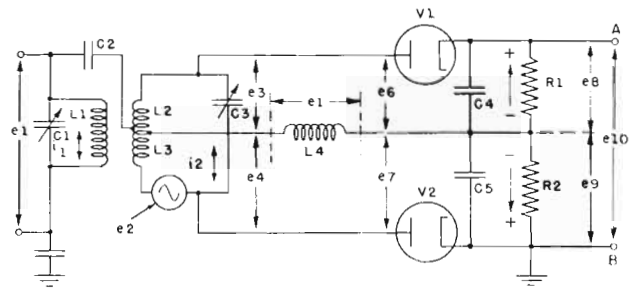



Fig. 15A - Rivelatore per F.M. del tipo a discriminatore. La tensione d'uscita, e_{10}, varia in polarità ed ampiezza in relazione alle variazioni di frequenza della tensione di entrata e_1.

di polarizzazione usato è tale da permettere la regolazione automatica ad un valore che consente ai picchi positivi del segnale di rendere la griglia positiva, determinando una corrente di griglia. Supponiamo che un segnale, la cui ampiezza superi quella di interdizione, venga applicato alla griglia della valvola. In tal caso si sviluppa una polarizzazione eguale all'ampiezza di picco. Conformemente, la corrente di griglia sarà presente durante brevi frazioni dei semiperiodi positivi, (zone tratteggiate nel disegno). D'altra parte, la corrente di placca scorre durante quasi tutto il semiperiodo positivo.

Non appena l'ampiezza del segnale aumenta, aumenta contemporaneamente la polarizzazione, mentre la tensione critica della griglia rimane la medesima. La corrente di placca viene così a subire variazioni minime. Ne consegue che l'ammontare della corrente di placca che scorre nello stadio limitatore è approssimativamente costante per tutti i segnali la cui ampiezza è abbastanza grande da sviluppare una polarizzazione maggiore della tensione di interdizione.

Questo dispositivo non ha alcuna influenza sulle variazioni di frequenza, e, a causa dell'effetto « volano » dei circuiti oscillanti, ogni oscillazione viene trasmessa allo stadio rivelatore con una forma egualmente sinusoidale. Allorchè i segnali ricevuti hanno un'ampiezza inferiore a quella detta sopra, l'azione del limitatore viene meno in quanto lo stadio agisce nei loro confronti come un'amplificatore in classe A. Per questo motivo, gli stadi che precedono il limitatore devono consentire un'amplificazione sufficiente per determinare un funzionamento soddisfacente di quest'ultimo nei confronti dei segnali in arrivo più deboli.

Esistono diversi tipi di stadi rivelatori per F.M.: ognuno ha, logicamente, dei vantaggi e degli inconvenienti.

I due tipi più comuni sono il **discriminatore** ed il **rivelatore a rapporto.** Esistono inoltre, vari tipi di rivelatori detti ad **oscillatore bloccato.**

Il rivelatore a **pendenza** — sebbene raramente usato — merita di essere menzionato a causa della sua semplicità. Risulta costituito da un normale rivelatore AM, che viene fatto lavorare su un fianco della curva di risposta del canale di Media Frequenza. In questo modo le variazioni di frequenza della portante sono convertite in variazioni di ampiezza, sebbene non in maniera proporzionale (la curva di risposta dell'amplificatore a Media Frequenza — come sappiamo — ha un andamento a campana). Il normale rivelatore AM demodula, a sua volta, il segnale convertito in una modulazione di ampiezza. Naturalmente, il rivelatore a pendenza ha un rendimento assai scadente perchè il tratto lineare della sua caratteristica di lavoro è esteso solo per qualche decina di kHz contro i 200 ed oltre necessari. Qualsiasi ricevitore A.M. è quindi in grado di riprodurre, in modo distorto, un segnale FM, dissintonizzando leggermente il canale di trasmissione rispetto al rivelatore.

RIVELATORI per MODULAZIONE di FREQUENZA

Discriminatore

La figura **15-A** ne illustra il circuito di principio. Il discriminatore deve essere preceduto da uno o più stadi limitatori, in quanto è sensibile oltre che alle variazioni di frequenza anche a quelle di ampiezza, e queste ultime non interessano. Il suo compito è sostanzialmente quello di determinare una tensione d'uscita e_{10} che varia in ampiezza seguendo le variazioni di frequenza del segnale in arrivo, e_1.

Le eventuali variazioni di ampiezza devono essere eliminate in precedenza. La tensione di ingresso, e_1, è applicata ai capi del circuito sintonizzato di ingresso. La corrente i_1 è in ritardo di 90° rispetto ad e_1. La tensione indotta, e_2, è in ritardo rispetto a i_2 di altri 90° per cui e_2 è sfasata di 180° rispetto ad e_1, come è illustrato nella sezione 1 della figura 15-**B**.

L'induttanza L_4 è collegata in parallelo al circuito sintonizzato di ingresso attraverso C_2 e C_3, e poichè la reattanza di questi condensatori è trascurabile nel confronti della frequenza di risonanza, e_1 risulta applicata interamente ai capi di L_4. Supponiamo per ora che il segnale in arrivo abbia una frequenza costante. In tal caso, la corrente indotta i_2 è in fase con e_2 come illustrato alle sezioni 2 e 3 della figura 15-B. Le tensioni e_3 ed e_4 sono dovute alle cadute induttive ai capi di L_2 ed L_3, e sono quindi in opposizione di fase. Osservando la figura 15-A e la sezione 3 della figura 15-**B**, si può osservare che e_6, ossia la tensione applicata al diodo rivelatore V_1, è la somma vettoriale di e_1 ed e_3, e che e_7, ossia la tensione applicata all'altro diodo rivelatore V_2, è la somma di e_1 ed e_4.

La tensione d'uscita rettificata di V_1 è e_8, mentre quella di V_2 è e_9, e la tensione di uscita totale, e_{10}, è la somma algebrica di queste ultime due. Nella sezio-

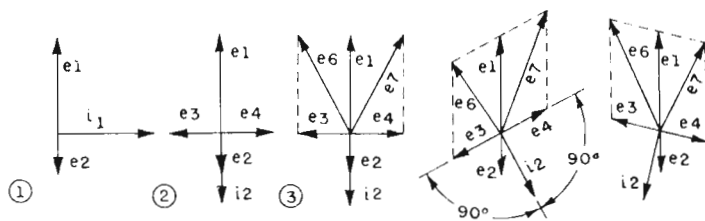



Fig. 15-B - Le varie tensioni e correnti in giuoco nel funzionamento del rivelatore a discriminatore della figura precedente, nella loro posizione vettoriale. Per frequenza costante e_6 ed e_7 sono eguali in ampiezza (3) mentre, variando la frequenza, si ha una delle situazioni riportate a destra.

Fig. 16 - Rivelatore per F.M. del tipo a rapporto. I due diodi sono in serie. Le tensioni ai capi di C_3 e C_4 variano in relazione alle variazioni di frequenza, ma la somma resta costante: il punto d'unione riproduce rispetto a massa, la Bassa Frequenza.

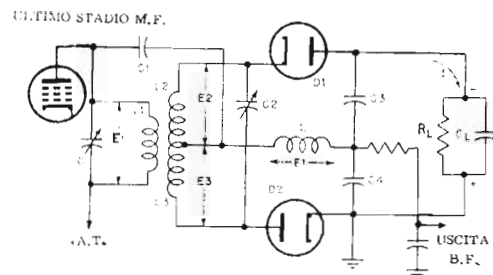
ne 3 di figura 15-B, e_6 ed e_7 sono eguali in quanto la frequenza del segnale in arrivo è costante. Ne deriva che e_8 ed e_9 sono di ampiezza eguale ed opposta; quindi e_{10} equivale a zero.

Per le frequenze *inferiori* alla portante, i_2 è in anticipo rispetto ad e_2 in quanto X_{C3} è maggiore di $X_{L2} + X_{L3}$: in questo caso e_3 ed e_4 sono ancora in opposizione di fase, ma ognuna di esse è sfasata di 90° rispetto a i_2. E' chiaro che e_7 è maggiore di e_6, e che e_9 è maggiore di e_8. Da ciò consegue che il punto *A* diventa negativo rispetto a massa determinando una tensione d'uscita negativa.

Se la frequenza del segnale in arrivo è *superiore* a quella della portante non modulata, avviene il contrario, per cui il punto *A* viene invece ad avere un potenziale positivo rispetto a massa. E' ovvio che ogni variazione di frequenza del segnale d'ingresso si traduce in una variazione di polarità e di ampiezza della tensione d'uscita, la quale costituisce il segnale a Bassa Frequenza che si desidera ottenere.

Rivelatore a rapporto

In questo tipo di rivelatore i due diodi sono collegati in serie (**figura 16**), e la corrente che percorre la resistenza di carico R_L scorre sempre nella medesima direzione. La polarità del segnale in uscita, quando la corrente scorre dalla placca di D_1 al catodo di D_2, è quella illustrata dalla freccia in figura. Quando al primario del trasformatore viene applicata una frequenza non modulata, ossia costante, ai capi del secondario si sviluppano le due tensioni eguali (E_2 ed E_3), le quali hanno polarità opposta rispetto alla presa centrale.

Tali tensioni vengono rettificate dai diodi, in modo tale che la tensione d'uscita presente ai capi della resistenza di carico equivale alla loro somma. La capacità C_L si carica con tale tensione. La costante di tempo $R_L C_L$ è lunga nei confronti della frequenza acustica più bassa. Dal momento che la tensione presente ai capi di C_L è costante, la somma delle tensioni presenti ai capi di C_3 e di C_4 deve esserlo egualmente. Allorchè la frequenza della portante varia per effetto della modulazione, le tensioni di C_3 e C_4 variano, mentre la loro somma resta costante e corrisponde all'ampiezza della carica di C_L. Se la frequenza diminuisce, C_4 si carica più di C_3 e viceversa, per cui la tensione presente tra il punto di unione dei due condensatori e massa, varia conformemente al rapporto tra le tensioni presenti ai capi di C_3 e di C_4, seguendo le variazioni di frequenza. Tali variazioni di tensione costituiscono il segnale a Bassa Frequenza che si desidera ottenere, e che può essere ulteriormente amplificato. Maggiore è la variazione di frequenza, maggiore è la tensione d'uscita.

Qualsiasi variazione di ampiezza del segnale di ingresso del trasformatore, indipendentemente dalla frequenza del segnale, tende a variare la tensione presente ai capi di C_3 e di C_4. Tuttavia, data la lunga costante di tempo $R_L C_L$, la tensione d'uscita del rivelatore a rapporto non riesce a seguire abbastanza rapidamente le variazioni di ampiezza: esso è perciò virtualmente insensibile alle variazioni di un segnale modulato in AM.

I rivelatori a rapporto possono funzionare con minime tensioni di ingresso, la cui ampiezza può scendere fino a 100 mV. Non è perciò necessaria una eccessiva amplificazione da parte degli stadi precedenti, col risultato di un livello inferiore del rumore di fondo prodotto dal ricevitore stesso. Gli inconvenienti del rivelatore a rapporto consistono nella sua sensibilità ai rumori ad impulsi ed all'evanescenza (fading) del segnale, in una maggiore difficoltà di allineamento, ed in una maggiore complessità costruttiva del trasformatore: fattori, questi ultimi, derivanti dalla necessità di un accoppiamento piuttosto critico e dall'influenza, maggiormente sentita, delle capacità parassite degli avvolgimenti.

La SEZIONE di BASSA FREQUENZA nei ricevitori F.M.

Come si è detto, la modulazione di frequenza permette la trasmissione e la ricezione di una gamma di frequenze acustiche più ampia che non la modulazione di ampiezza. Per questo motivo la sezione di amplificazione a Bassa Frequenza può essere, all'occorrenza, di classe più elevata, e può rientrare nella categoria degli amplificatori detti ad **alta fedeltà**. Grazie alla possibilità di ricevere segnali di modulazione di frequenza a gamma più ampia, le capacità di accoppiamento tra gli stadi hanno un valore più elevato, il rendimento sulle frequenze acustiche elevate è molto migliore, ed i trasformatori di uscita devono essere di costruzione molto più accurata. Ciò permette di ottenere la riproduzione delle armoniche delle frequenze acustiche, col risultato di una riproduzione molto più soddisfacente.

DOMANDE sulle LEZIONI 76ª e 77ª

N. 1 —
Quali sono i fattori che — in linea di massima — determinano l'ammontare dell'amplificazione in Alta Frequenza necessaria nei ricevitori radio?

N. 2 —
In quale classe funzionano normalmente gli stadi di amplificazione in Alta Frequenza?

N. 3 —
Quali sono gli stadi che differiscono maggiormente tra i ricevitori per AM e quelli per FM?

N. 4 —
Nei ricevitori per modulazione di Frequenza, quale è il compito principale degli stadi di amplificazione in A.F.?

N. 5 —
Come è possibile stabilizzare la frequenza del segnale prodotto dall'oscillatore locale?

N. 6 —
Per quale motivo, in modulazione di frequenza, si usa un numero di stadi di amplificazione a Media Frequenza maggiore che non in modulazione di ampiezza?

N. 7 —
In quale modo è possibile aumentare la selettività in un ricevitore per modulazione di frequenza?

N. 8 —
Da che cosa dipende il fattore rumore?

N. 9 —
Come può essere definito lo stadio mescolatore?

N. 10 —
A che cosa serve uno stadio limitatore?

N. 11 —
Quale è il suo scopo indiretto?

N. 12 —
Quali sono gli stadi dai quali dipendono — in linea di massima — la sensibilità e la selettività?

N. 13 —
Da quali fattori dipende la stabilità di un ricevitore per modulazione di frequenza?

N. 14 —
Quale è la maggiore differenza che sussiste tra uno stadio rivelatore per AM ed uno stadio rivelatore per FM?

N. 15 —
Quali sono i vantaggi e gli svantaggi del discriminatore?

N. 16 —
Quali sono i vantaggi e gli svantaggi del rivelatore a rapporto?

N. 17 —
Per quale motivo la modulazione di frequenza è preferibile alla modulazione di ampiezza?

N. 18 —
In cosa differisce la sezione di Bassa Frequenza tra un ricevitore per modulazione di ampiezza, ed uno per modulazione di frequenza?

RISPOSTE alle DOMANDE di Pag.593

N. 1 — La sintonia sulla medesima frequenza degli stadi di M.F. e la sintonia scalare degli stadi a R.F. ed oscillatore locale.

N. 2 — Quando si riscontra uno scarso rendimento, pur essendo normali i componenti del circuito e le tensioni.

N. 3 — Con un generatore ed un misuratore di uscita.

N. 4 — Ai capi della bobina dell'altoparlante o della resistenza equivalente (portata strumento 10 V f.s c.a.), oppure ai capi del primario del trasformatore d'uscita mediante la interposizione di un condensatore di blocco da 0,1 μF 500 V (portata strumento 100 V f.s. c.a.).

N. 5 — L'interposizione di un filtro RCL in serie alla antenna, che simula l'arrivo del segnale a R.F. dall'etere anzichè dal generatore: in particolare, essa evita che lo strumento dissintonizzi il circuito di antenna.

N. 6 — In uno stadio oscillatore A.F. commutabile e sintonizzabile sulle frequenze richieste, ed in uno stadio di uscita con attenuatore. Vi è inoltre un oscillatore B.F. per la modulazione della portante ad Alta Frequenza.

N. 7 — Dallo stadio più vicino all'uscita, cioè dall'ultimo trasformatore. A ritroso.

N. 8 — Oltre alla M.F., due frequenze corrispondenti pressochè all'estremo di ogni gamma da allineare. Per le O.M.: 600 e 1200 kHz. Per le O.C., le frequenze variano da ricevitore a ricevitore a seconda delle gamme.

N. 9 — La diminuzione di capacità del variabile mediante un condensatore in serie. Ciò consente di esplorare una gamma più ridotta con una rotazione di 180°.

N. 10 — Nelle gamme delle Onde Corte.

N. 11 — Quella corrispondente alla minima capacità. In tal caso la frequenza dell'oscillatore è maggiore di quella del segnale ricevuto, ed il battimento a M.F. è ottenuto per differenza tra i due segnali con maggior vantaggio per la costanza dell'accordo scalare.

N. 12 — No. In caso contrario, durante l'allineamento di ogni circuito accordato, l'azione del C.A.V. impedirebbe di valutare con esattezza la massima uscita.

N. 13 — Verso il centro della scala.

N. 14 — Occorre regolare il potenziometro del volume per la massima uscita e l'attenuatore del generatore in modo da portare l'indice del misuratore di uscita a centro scala.

N. 15 — Occorre interporre nei collegamenti tra il ricevitore e l'oscillatore modulato un condensatore da 10.000 pF 500 V sul ritorno di massa ed uno da 1.000 pF sul conduttore del segnale per l'allineamento della M.F. Per l'allineamento delle Onde Medie e Corte quest'ultimo condensatore deve essere da 200 pF. Migliore precauzione è quella di alimentare il ricevitore in prova attraverso un trasformatore separatore di rete.

N. 16 — I corpi conduttori e le mani dell'operatore devono essere distanti dai circuiti non schermati per evitare di dissintonizzare i circuiti stessi mediante le capacità parassite aggiunte verso massa.

INDUTTANZA
FREQUENZA
LUNGHEZZA d'ONDA
CAPACITA'
50
40
30
25
20
15
10
9
8
7
6
5
4
3
2
microhenry
1,5
2
3
4
5
6
7
8
9
10
15
20
25
30
35
40
Megahertz
200
150
100
90
80
70
60
50
40
30
20
15
10
9
8
metri
200
150
100
90
80
70
60
50
40
30
20
15
10
9
picofarad

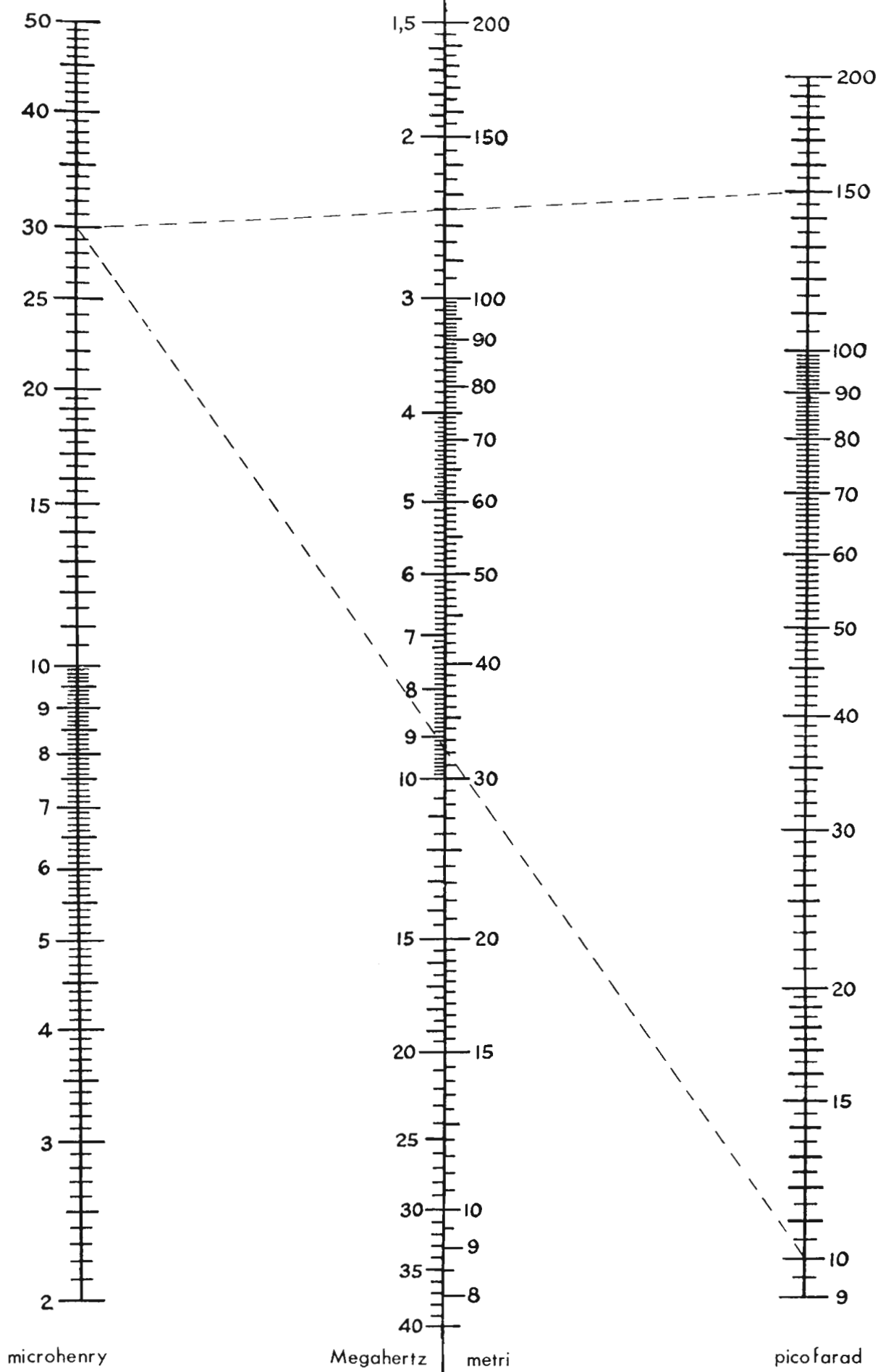



TABELLA 75 — GRAFICO per il CALCOLO della FREQUENZA di RISONANZA in FUNZIONE dell'INDUTTANZA e della CAPACITA'

Allorchè ci siamo occupati dei circuiti risonanti, abbiamo appreso le formule relative al calcolo di un circuito *LC* risonante in serie o in parallelo. Il grafico che qui riportiamo (tabella 75) è di grande utilità allorchè si desidera calcolare la frequenza di risonanza conoscendo i valori di *L* e di *C*, oppure uno di questi due valori conoscendo l'altro e la frequenza stessa.

In particolare, se si deve calcolare un circuito accordato le cui caratteristiche consentano la sintonia su una determinata gamma di frequenze, delimitata dal valore dell'induttanza e della capacità massima del condensatore variabile (allorchè è completamente chiuso), e minima o *residua* (allorchè esso è completamente aperto), il grafico consente un calcolo rapido e sufficientemente esatto.

Nell'esempio illustrato dalle linee tratteggiate, si prende in considerazione un condensatore variabile avente una capacità minima di 10 pF, e massima di 150 pF. Se esso viene usato unitamente ad una bobina avente un'induttanza di 30 µH, è facile conoscere la gamma di frequenze che può essere — per così dire — esplorata, mediante l'intera rotazione del condensatore variabile. Basta infatti unire i due punti corrispondenti ai valori estremi della capacità, individuati sull'asse verticale destro, col punto corrispondente al valore dell'induttanza sull'asse verticale sinistro. Le due rette incontreranno l'asse centrale, sul quale sono riportati i valori di frequenza in MHz e di lunghezza d'onda in metri, in due punti che individueranno i valori estremi della gamma esplorata.

Nel nostro caso, tale gamma è compresa tra 2,5 e 9,2 MHz, ossia 32 e 125 metri. Ovviamente, se fossero note le estremità della gamma ed i valori massimo e minimo della capacità, sarebbe analogamente possibile conoscere l'induttanza, oppure, conoscendo le estremità di gamma e l'induttanza, conoscere i valori massimo e minimo della capacità.

Come sappiamo, la lunghezza d'onda, l'induttanza e la capacità sono grandezze tra loro direttamente proporzionali. Al contrario, la frequenza è inversamente proporzionale a tutte e tre tali grandezze. Ciò premesso, possiamo estendere la portata del grafico a piacere, moltiplicando le scale della capacità, dell'induttanza e della lunghezza d'onda per 10, o per un multiplo o sottomultiplo di tale numero, e dividendo — contemporaneamente — quella della frequenza per il medesimo numero. Infatti, riferendoci sempre all'esempio riportato, se consideriamo una capacità minima di 100 pF ($= 10 \times 10$), una capacità massima di 1.500 pF ($= 150 \times 10$), una induttanza di 300 µH ($= 30 \times 10$), otteniamo una gamma di lunghezze d'onda compresa tra 320 e 1.250 metri (pari rispettivamente a 32×10 ed a 125×10). Per contro, la gamma di frequenze sarà compresa tra 0,25 a 0,92 MHz (pari rispettivamente a 2,5 : 10 ed a 9,2 : 10).

TABELLA 76 — VALORI TIPICI delle RESISTENZE di CATODO e di SCHERMO per PENTODI AMPLIFICATORI in A.F. e M.F.

Alle lezioni 60ª e 63ª abbiamo visto, raggruppati in apposite tabelle, i principali valori tipici per stadi di amplificazione del tipo *RC*, riferiti all'impiego sia di pentodi che di triodi o di valvole multiple. Sappiamo anche che, in base alle curve caratteristiche ed ai dati forniti dal costruttore per ogni tipo di valvola, è possibile determinare tali valori al fine di ottenere il massimo rendimento, per l'impiego in circuiti sia a Bassa Frequenza che ad Alta Frequenza. Per facilitare al lettore il compito di determinare i valori delle resistenze di polarizzazione (in serie al catodo) e di schermo, adatti per il funzionamento della maggior parte dei pentodi che possono essere impiegati sia come stadi amplificatori in Alta Frequenza, che come stadi di Media Frequenza, riportiamo la tabella 76 che — in un certo senso — fa seguito a quelle citate.

Desideriamo innanzitutto mettere in chiaro che i valori ivi elencati non sono tassativi. Essi sono stati ricavati dai dati forniti dai vari costruttori, e possono essere variati a seconda delle esigenze del circuito di impiego. Con ciò intendiamo dire che non sempre, nei circuiti di apparecchi sperimentali o del commercio, accadrà di vedere applicati esattamente i valori elencati nella tabella. Tuttavia, allorchè si dovrà progettare uno stadio di Alta o di Media Frequenza, o ancora nel corso di una riparazione, i valori quì riportati potranno essere adottati con una certa sicurezza. Beninteso, qualora il funzionamento non fosse soddisfacente, essi — ripetiamo — potranno essere variati in più o in meno a seconda delle esigenze del circuito.

Supponiamo — ad esempio — che la resistenza di griglia schermo di un pentodo amplificatore di Media Frequenza di un apparecchio sia bruciata, a causa di un corto circuito nel condensatore relativo di filtro, in modo tale che il valore riportato sul corpo della resistenza stessa (in numeri o in codice a colori) non sia più leggibile. In tal caso, il valore suggerito dalla tabella potrà essere senz'altro adottato. Ovviamente, se l'amplificazione fornita dallo stadio non risultasse sufficiente, ciò può essere imputato sia al fatto che gli altri valori differiscono da quelli della tabella (tensione di alimentazione, resistenza catodica o altro), sia alla eventuale presenza di un ulteriore guasto.

La resistenza che deve essere collegata in serie alla griglia schermo per ottenere la polarizzazione adeguata, è stata calcolata per l'impiego con la sola valvola cui è riferita. In altre prole, si trova spesso, specie nei circuiti di ricevitori supereterodina, che lo schermo della convertitrice e quello della amplificatrice di Media Frequenza sono alimentati attraverso un'unica resistenza. Ovviamente — in tal caso — il valore riportato nella tabella non può essere preso in considerazione. Il sistema di polarizzazione citato può essere adottato soltanto nei casi in cui le due griglie schermo possono funzionare con la medesima tensione positiva verso massa. In caso contrario devono essere alimentate separatamente: la tabella è appunto subordinata a questa condizione.

Negli stadi di amplificazione in Alta Frequenza ed in Media Frequenza, il circuito di griglia è normalmente costituito da una bobina facente parte di un circuito accordato, il cui polo di ritorno è connesso o direttamente a massa, o alla linea che fornisce la tensione *C.A.V.* Inoltre, il carico anodico è costituito — in entrambi i casi — dal primario di un trasformato-

VALVOLA	TENS. ANODICA V_a(volt)	TENS. SCHERMO V_{g2} (volt)	RESIST. CATODO R_k(ohm)	RESIST. SCHERMO R_{g2} (kohm)
1SA6	90	85	-	18
1T4	90	75	-	15
3AU6	250	162	68	22
3BA6	250	162	68	22
3BC5	250	196	180	47
3BZ6	200	153	180	18
3CB6	200	150	180	18
3CF6	200	150	180	18
3DT6	150	100	560	24
4AU6	250	155	68	22
4CB6	200	168	180	18
4DT6	150	100	560	18
6AB7	300	204	190	30
6AC7	300	150	160	60
6AG5	250	156	200	47
6AH6	300	200	160	39
6AM6	250	250	40	-
6AK5	180	120	200	25
6AU6	250	155	68	22
6B7	250	120	250	55
6B8	250	120	250	56
6BA6	250	110	68	33
6BC5	250	150	180	47
6BD6	250	100	240	43
6BH6	250	152	100	33
6BJ6	250	95	82	47
6BZ6	200	153	180	18
6C9	300	150	160	60
6CF6	200	150	180	18
6CT7	250	85	310	110
6D6	250	100	300	75
6DC6	200	146	180	18
6DE6	200	150	180	18
6DT6	150	100	560	24
6E7	250	100	300	75
6J7	250	100	1200	270
6K7	250	130	220	47
6S7	250	100	270	75
6SF7	250	100	68	47
6SG7	250	140	180	33
6SH7	250	150	68	25
6SJ7	250	100	820	180
6SK7	250	105	270	56

VALVOLA	TENS. ANODICA V_a(volt)	TENS. SCHERMO V_{g2} (volt)	RESIST. CATODO R_k(ohm)	RESIST. SCHERMO R_{g2} (kohm)
6SS7	250	100	270	75
6U7	250	100	300	75
7A7	250	100	260	60
7B7	250	100	300	90
7E7	250	150	330	62
7G7	250	100	250	75
7H7	250	135	200	33
7L7	250	100	250	100
7R7	250	90	130	100
7V7	300	150	160	39
7W7	300	150	160	39
9D6	250	205	250	22
9D7	250	95	100	47
12AU6	250	155	68	22
12AW6	250	150	200	50
12BA6	250	110	68	33
12BD6	250	100	250	43
12C8	250	120	250	56
12C8	250	125	-	55
12CR8	250	145	160	56
12J7	250	100	1200	270
12K7	250	130	220	47
12SF7	250	100	68	47
12SG7	250	140	180	33
12SH7	250	150	68	25
12SJ7	250	100	820	180
12SK7	250	100	270	56
14A7	250	100	260	60
34	135	65	-	68
57	250	100	-	30
58	250	100	300	75
77	250	100	-	30
78	250	130	220	47
9001	250	100	1000	220
9003	250	100	320	56
AF3	250	100	270	56
AF7	250	100	500	150
CF3	200	100	300	39
CF7	200	110	500	90
D121	200	100	300	50
DAF40	90	66	-	120
DF11	90	50	-	220
DF21	90	90	-	-

VALVOLA	TENS. ANODICA V_a(volt)	TENS. SCHERMO V_{g2}(volt)	RESIST. CATODO R_k(ohm)	RESIST. SCHERMO R_{g2}(kohm)
DF22	90	90	-	-
DF25	120	60	-	27
DF33	90	90	-	-
DF91	90	45	-	68
DF92	90	90	-	-
DF96	85	63	-	39
DF97	90	67	-	33
E80F	250	110	550	220
E83F	210	120	165	43
E90F	250	155	100	33
EAF41	250	100	300	95
EAF42	250	85	310	110
EBF2	250	100	300	95
EBF11	250	100	300	82
EBF15	250	150	160	62
EBF32	250	100	300	95
EBF80	250	85	300	95
EBF83	12,6	12,6	-	-
EBF89	250	80	82	62
ECF1	250	100	300	75
ECF82	250	110	68	40
EF5	250	100	180	60
EF6	250	100	300	100
EF9	250	100	330	91
EF11	250	100	270	75
EF12	250	100	470	150
EF13	250	100	390	250
EF14	250	195	330	33
EF15	250	94	130	52
EF22	250	90	330	91
EF37	250	100	-	175
EF39	250	90	330	91
EF41	250	80	330	100
EF42	250	250	160	-
EF43	250	135	110	33
EF50	250	250	120	-
EF51	250	250	120	-
EF54	250	250	130	-
EF55	250	250	-	-
EF72	100	100	150	-
EF80	250	250	270	-
EF85	250	90	160	-
EF89	250	100	160	51

VALVOLA	TENS. ANODICA V_a(volt)	TENS. SCHERMO V_{g2}(volt)	RESIST. CATODO R_k(ohm)	RESIST. SCHERMO R_{g2}(kohm)
EF91	250	250	-	-
EF92	250	200	250	24
EF93	250	100	68	33
EF94	250	155	68	22
EF95	180	120	200	25
EF97	12,6	6,6	-	6,8
EF98	12,6	5,8	-	12
EF190	200	150	180	35
EL83	180	180	50	-
EL180	250	100	68	16
KF3	90	90	-	-
KF4	90	90	-	-
KF35	120	69	-	1200
NF2	200	100	500	90
SP41	250	250	150	-
SP61	250	250	150	-
UAF41	170	1 00	300	44
"	100	60	300	44
UAF42	200	85	310	76
"	100	50	310	56
UBF41	200	85	300	68
UBF80	200	80	300	68
"	100	53	300	47
UBF89	200	100	100	30
"	100	100	180	-
UF5	200	100	325	60
UF6	200	55	510	180
UF9	200	90	330	62
"	100	100	330	-
UF11	200	85	270	68
"	100	35	270	68
UF21	200	90	330	62
"	100	48	330	62
UF41	200	118	330	39
UF42	170	170	150	-
UF43	170	135	110	10
"	100	75	110	10
UF80	170	170	160	-
UF85	200	115	160	27
"	100	67	150	27
UF89	200	110	130	24
"	100	67	130	15
VF14	250	200	300	27

re interstadio, sia esso di Alta o di Media Frequenza, accordato o meno. Comunque, negli stadi di questo tipo, non si ha mai un valore resistivo nel circuito anodico; il carico è dato esclusivamente dall'impedenza che l'induttanza offre alla frequenza di funzionamento. Per questo motivo il valore di R_a (resistenza anodica) non è riportato nella tabella.

Le **figure 1** e **2** illustrano lo schema di principio relativo a stadi di amplificazione di Alta o Media Frequenza, rispettivamente con pentodi ad accensione diretta e indiretta.

Consultando la tabella, si noterà che a volte manca qualche valore. Ciò è dovuto a vari motivi: innanzitutto, vi sono casi in cui la griglia schermo funziona con la medesima tensione di placca, e ciò accade particolarmente con valvole adatte all'impiego in apparecchi alimentati a batterie, nei quali la tensione anodica è raramente superiore al valore di 90 volt. In questo caso è ovvio che lo schermo deve essere connesso direttamente alla sorgente della tensione anodica. Ciò è inoltre denunciato nella tabella stessa dal fatto che V_a (tensione anodica di alimentazione) e V_{g2} (tensione di griglia schermo) hanno il medesimo valore.

Fig. 1 - Stadio amplificatore con pentodo ad accensione diretta.

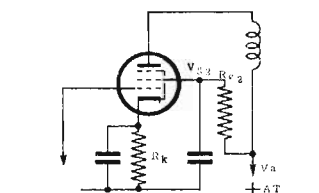
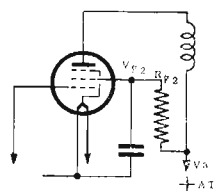



Fig. 2 - Stadio amplificatore con pentodo ad accensione indiretta.

Un altro particolare degno di nota è che, per alcune valvole di tipo europeo — sono elencati i valori tipici di funzionamento riferiti a due valori di tensione anodica di alimentazione. Ciò in quanto — specie nei ricevitori portatili — tali valvole vengono spesso fatte funzionare con tensioni ridotte.

Supponiamo, ad esempio, di dover determinare i valori di R_k e di R_{g2} per ottenere la massima amplificazione da parte di una valvola del tipo UAF42. Dalla tabella risulta che questa valvola può funzionare con 200 e 100 volt. Nel primo caso avremo V_a = 200 volt, V_{g2} = 85 volt, R_k = 310 ohm ed R_{g2} = 76 kohm; nel secondo caso avremo: V_a = 100 volt, V_{g2} = 50 volt, R_k = 310 ohm ed R_{g2} = 56 kohm.

TABELLA 77 — CARATTERISTICHE delle LAMPADINE MINIATURA

Dopo aver pubblicato una numerosa serie di tabelle di conversione tra valori espressi in unità inglesi ed americane, e valori espressi secondo il sistema metrico decimale, riteniamo di grande utilità iniziare una nuova breve serie di tabelle anch'esse utili per coloro che hanno occasione di consultare testi e riviste straniere.

Nel mondo industriale d'oltre Oceano, così come è stato fatto per i conduttori in rame — vedi tabella 51 a pagina 306 — è stato stabilito un codice particolare per individuare rapidamente le lampadine miniatura (quelle ad esempio impiegate per l'illuminazione delle scale parlanti e dei quadranti). Nella nostra produzione, esse possono essere individuate mediante iscrizione incise sul bordo di ottone nel quale è inserito il bulbo di vetro. Tali iscrizioni riportano di solito i valori di tensione e di corrente. Nella produzione americana le lampadine sono invece contraddistinte da un numero e da un «colore di identificazione»: quest'ultimo è applicato o sulla parte esterna, o sulla parte centrale interna al bulbo, che supporta il filamento.

LAMPADA	ZOCCOLO	volt	ampere	COLORE IDENTIFICAZIONE	FIGURA
PR2	a flangia	2,4	0,50	blu	1
PR3	a flangia	3,6	0,50	verde	1
PR4	a flangia	2,3	0,27	giallo	1
PR6	a flangia	2,5	0,30	marrone	1
PR12	a flangia	5,95	0,50	bianco	1
13	a vite	3,8	0,30	verde	2
14	a vite	2,5	0,30	blu	2
40	a vite	6,3	0,15	marrone	3
41	a vite	2,5	0,50	bianco	3
42	a vite	3,2	0,35	verde	3
43	a baionetta	2,5	0,50	bianco	4
44	a baionetta	6,3	0,25	blu	4
45	a baionetta	3,2	0,35	verde	4
46	a vite	6,3	0,25	blu	3
47	a baionetta	6,3	0,15	marrone	4
48	a vite	2,0	0,06	rosa	3
49	a baionetta	2,0	0,06	rosa	4
50	a vite	6,3	0,20	bianco	2
51	a baionetta	6,3	0,20	bianco	5
55	a baionetta	6,3	0,40	bianco	6
112	a vite	1,1	0,22	rosa	7
222	a vite	2,2	0,25	bianco	7
233	a vite	2,3	0,27	porpora	2
291	a vite	2,9	0,17	bianco	3
292	a vite	2,9	0,17	bianco	3
1490	a baionetta	3,2	0,16	bianco	4
1891	a baionetta	14,0	0,23	rosa	4
1892	a vite	14,0	0,12	bianco	3

Sia il numero che il colore permettono di stabilire il tipo dello zoccolo (tipo di innesto), la tensione di funzionamento, la corrente e — di conseguenza — il wattaggio, dato, come sappiamo, dal prodotto di questi due valori.

La tabella 77 elenca i tipi principali e le relative caratteristiche; il suo impiego è del tutto intuitivo. Supponiamo, ad esempio, di possedere una lampadina miniatura contraddistinta dal numero 112, e dal colore rosa. Dalla tabella apprendiamo che essa funziona con una tensione di 1,1 volt ed una corrente di 0,22 ampére: il wattaggio è pertanto di 0,242 watt.

Le figure **1**, **2**, **3**, **4**, **5**, **6**, e **7** illustrano i vari tipi.

per RILEGARE

le lezioni del "Corso di RADIOTECNICA„ potete ora disporre di una apposita, razionale copertina - imitazione pelle - con diciture in oro.

La copertina viene fornita con tutto il necessario atto a formare un vero e proprio volume: non si tratta quindi di un semplice raccoglitore, ma di un sistema, brevettato, che consente a chiunque di rilegare, da se, i diversi fascicoli.

Questa copertina prevede la raccolta di 26 fascicoli (metà Corso) - volume 1° -

POTETE EVITARE QUALSIASI ALTRA SPESA PER FORMARE IL VOSTRO VOLUME

L'INVIO VIENE EFFETTUATO A MEZZO POSTA E LE RICHIESTE — ACCOMPAGNATE DALL'IMPORTO DI LIRE 880 + 195 (RIMBORSO SPESE SPEDIZIONE) = **LIRE 1075** - DEVONO ESSERE INDIRIZZATE DIRETTAMENTE AL **« CORSO DI RADIOTECNICA »** - **VIA DEI PELLEGRINI 8/4 - MILANO.**

L'IMPORTO DI LIRE 1075 PUO' ESSERE VERSATO SUL CONTO CORRENTE POSTALE N. 3/41203, MILANO. — SI PREGA DI SCRIVERE IN MODO MOLTO CHIARO IL PROPRIO INDIRIZZO.

PER I SUCCESSIVI 26 FASCICOLI E' IN PREPARAZIONE LA COPERTINA CON LA DICITURA **« VOLUME II° »**. POTRA' ESSERE ACQUISTATA TRA QUALCHE TEMPO E, DATO IL PARTICOLARE SISTEMA, I FASCICOLI VI **POTRANNO ESSERE RILEGATI OGNI SETTIMANA.**

ALLA FINE DEL **« CORSO »** E' PREVISTA LA PUBBLICAZIONE DI UNA « ERRATA CORRIGE » E DI INDICI MOLTO UTILI E PRATICI PER LA RICERCA DEI VARI ARGOMENTI.

IMPORTANTE

COL PRESENTE FASCICOLO SCADONO TUTTI GLI ABBONAMENTI A ½ CORSO.

RICORDIAMO CHE CHIUNQUE, MEDIANTE VERSAMENTO DI LIRE 3.500 (IN LUOGO DI 3.900, SPESA CHE SI INCONTREREBBE PER L'ACQUISTO DEI SINGOLI FASCICOLI) SUL CONTO CORR. POSTALE N. 3/41.203, O MEDIANTE VAGLIA POSTALE, PUO' RICEVERE GLI ALTRI 26 FASCICOLI COSTITUENTI IL **II° VOLUME.**

LA POSIZIONE DI ABBONATO DA' DIRITTO INOLTRE AD UNO SCONTO DI OLTRE 300 LIRE SULL'ABBONAMENTO A 12 NUMERI DELLA RIVISTA MENSILE **« RADIO e TELEVISIONE »** (LIRE 2.754 INVECE DI LIRE 3060) E CON QUEST'ULTIMO ABBONAMENTO **SI POSSONO RICHIEDERE ANCHE 4 NUMERI ARRETRATI — GRATUITI — DELLA RIVISTA STESSA.**

Dal 1931 su tutti i mercati del mondo

IL RICEVITORE G 335

descritto alla lezione 71ª

è un modernissimo apparecchio, che può essere facilmente montato con piena sicurezza di risultati. Il mobile, di linea elegante, completa nel modo migliore la realizzazione. Questo ricevitore rappresenta la soluzione più conveniente – anche nei confronti degli apparecchi a transistori – nei casi di frequente e prolungato impiego.

Un altoparlante di alto rendimento e notevole uniformità di resa acustica, unitamente ad un circuito elettrico amplificatore dotato di correzioni e compensazioni opportunamente calcolate, conferisce al G 335 la particolare prerogativa di una eccellente riproduzione sonora. Riceve la gamma delle Onde Medie, con facilità di accordo su ampia scala parlante. Presenta 7 funzioni di valvola, 6 circuiti accordati, controllo di tono, possibilità di alimentazione da reti a corrente alternata da 100 a 230 volt. L'altoparlante è del tipo ellittico. Il mobile è in colore marrone con finiture, pannello frontale e bottoni, bianco avorio. Dimensioni di cm 37 x 20 x 24 e peso di 3,5 kg.

G 335/SM — **Scatola di montaggio,** completa di valvole e di ogni parte necessaria alla costruzione. Prezzo comprensivo di tasse radio e di imballo, porto escluso. . . . . Lire 12.600
Mobile marrone, completo per detto. Prezzo comprensivo di tasse e imballo. . . . . Lire 4.200

G 335 — **Ricevitore montato,** tarato e collaudato, completo di mobile. Prezzo, tasse radio comprese Lire 22.800

GELOSO S.p.A. - Viale Brenta, 29 - Telefoni 563.183/4/5/6/7 - MILANO (808)

HEATH COMPANY

a subsidiary of Daystrom, Inc.

Audio Generator KIT

MODELLO

AG-9-A

CARATTERISTICHE

Frequenza	10 Hz ÷ 100 kHz selezionabili con commutatore, 2 figure significative e moltiplicatore
Uscita	6 portate: 0 ÷ 0,003; 0,01; 0,03; 0,1; 0,3; 1 Volt efficace su un carico esterno di 600 ohm oppure con carico interno su « Hi-Z » 2 portate: 0 ÷ 3, 10 volt efficaci su 10.000 ohm — 60 dB + 22 dB in 8 salti — 60 dBm ÷ 2 dBm (0 dBm = 1 mW su 600 ohm)
Distorsione	Inferiore a 0,1% da 20 a 20.000 Hertz
Tubi elettronici	1 - 6AV6; 1 - 6CL6; 1 - 6X4
Alimentazione	105 - 125 Volt c.a., 50 ÷ 60 Hz; 40 Watt
Dimensioni	larghezza 24, altezza 16,5, profondità 12,5 cm.

REQUISITI

- Indicazione della frequenza e del livello di uscita entro il ± 5%.
- Chiusura a 600 ohm incorporata ed inseribile tramite commutazione.
- Tutte le frequenze sono selezionate con commutatore e questo evita qualsiasi errore di apprezzamento.
- Strumento ad indice con 200 microampere di sensibilità fondo scala, tarato in Volt efficaci ed in dB.
- Attenuazione con regolazione continua e a scatti.

RAPPRESENTANTE GENERALE PER L'ITALIA

soc. r. l. **MILANO** P.zza 5 GIORNATE 1
Telefoni: 795.762 - 795.763

Agenti esclusivi di vendita per:

LAZIO - UMBRIA - ABRUZZI . . . . **Soc. FILC RADIO**
p.za Dante, 10 - ROMA - tel. 736.771

EMILIA - MARCHE . . . . **Ditta A. ZANIBONI**
via Azzogardino, 2 - BOLOGNA - tel. 263.359

Il presente « **Corso di RADIOTECNICA** » è formato da due volumi di eguale formato, numero di pagine e prezzo.